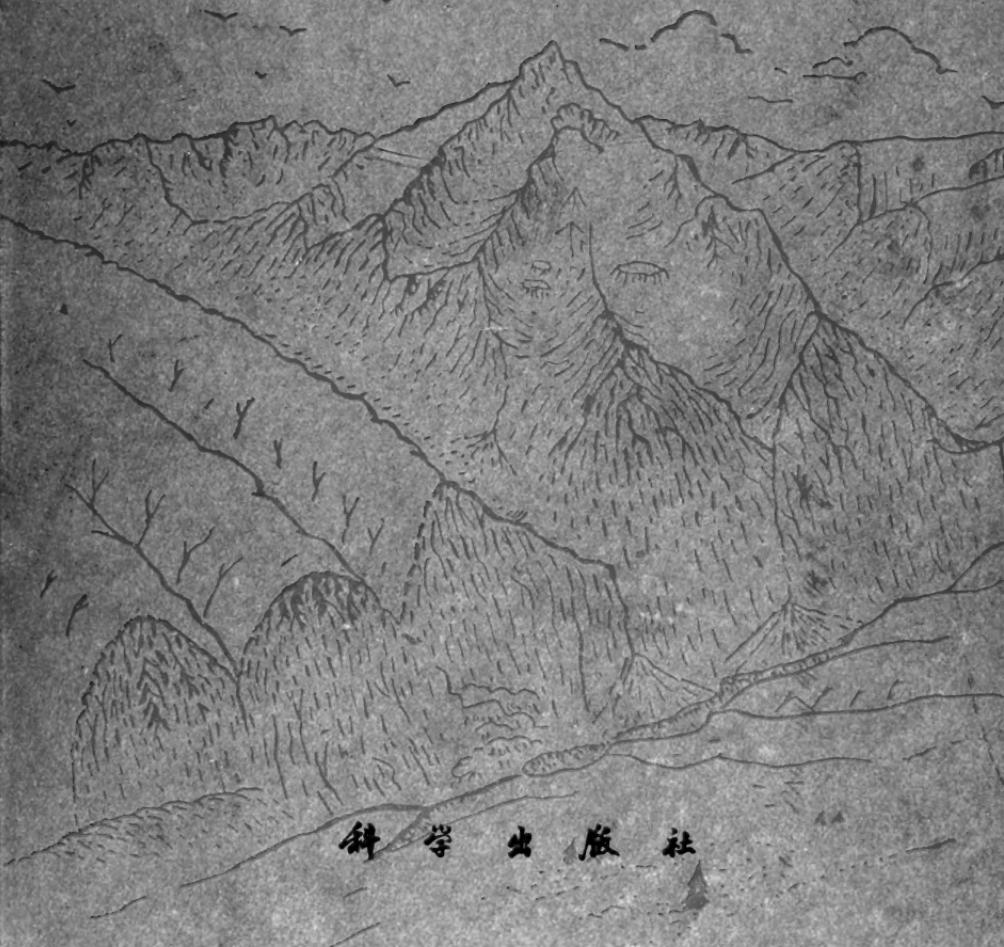


野外地植物学

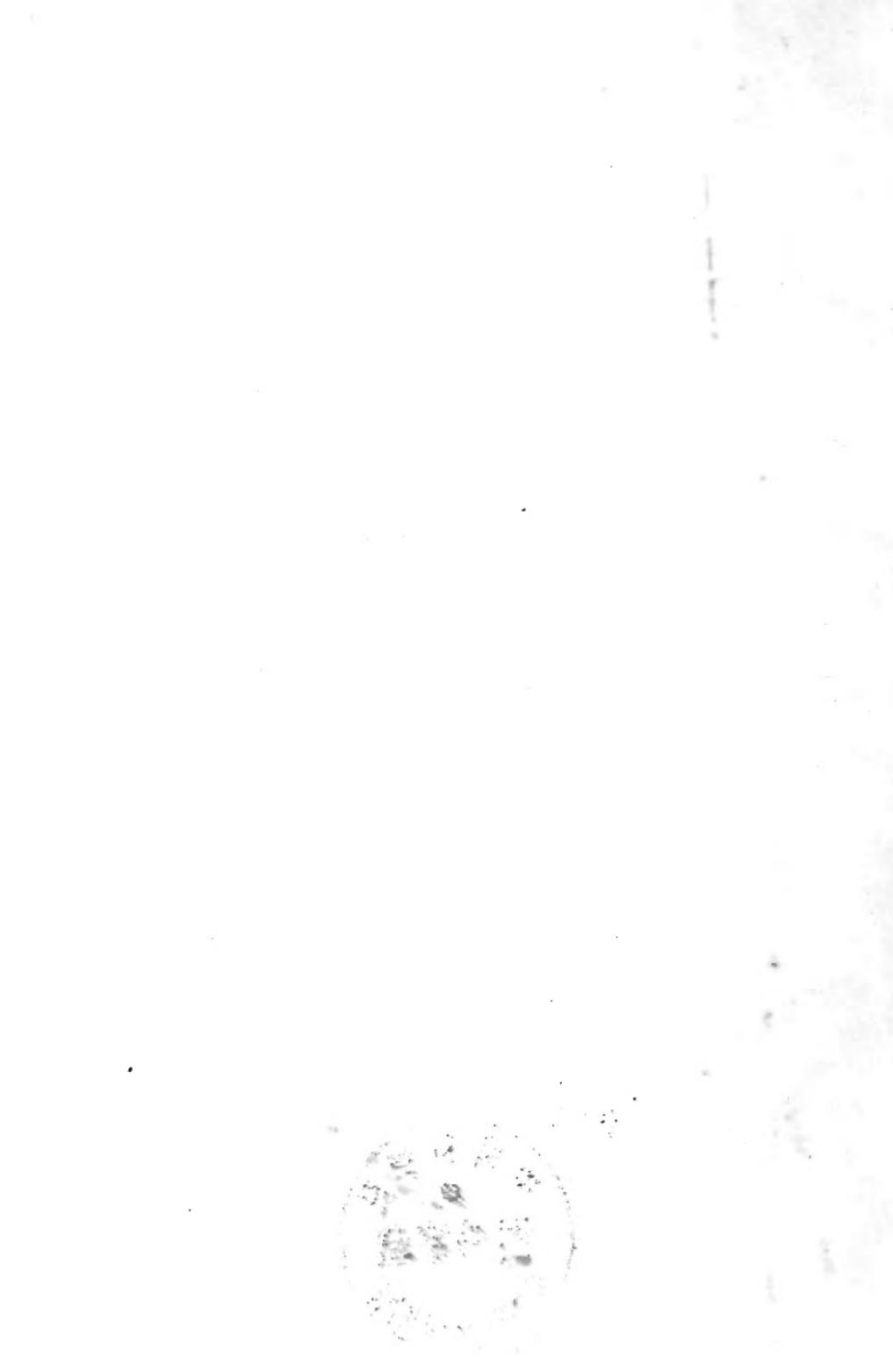
第一卷



科学出版社







58.056
327-1
1:(1)

野外地植物学
第一卷

E. M. 拉甫連柯等著

陈昌笃 李 恒 郭秀珍 譯

陈昌笃 周佩珍 校

科学出版社

1965



中科院植物所图书馆



S0020234

Полевая геоботаника

(I)

Под общей редакцией

Е. М. Лавренко и А. А. Корчагина

Изд. АН СССР. 1959

内 容 简 介

«野外地植物学»是一套完整的关于地植物学野外研究方法的书。它詳細地介绍了野外路线調查和定位研究的各种现代方法，叙述了研究植被所必需的一些基本理論知識以及植被研究的今后方向。

本书共分四卷出版，第一卷評述植物群落的基本規律及其研究途径，介紹自然条件、群落中植物个体的生理过程以及低等植物的野外研究方法。

本书可供地植物学、植物生态学、自然地理学、土壤学、气候学、农学、林学、畜牧学等工作者参考，并可做綜合大学、师范学院、农林院校有关专业的教学参考书。

野 外 地 植 物 学

第一卷

Е. М. 拉甫連柯等著

陈 昌 篤 等 譯

*

科学出版社出版

北京朝阳門內大街 117 号

北京市书刊出版业营业许可证出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

*

1965 年 11 月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1965 年 11 月第一次印刷 印张: 16 3/4

精裝: 1-930 捆页: 3

平裝, 1-1,070 字数: 438,000

统一书号: 13031·2190

本社书号: 3333·13—8

定价: [科六] 精裝本 3.00 元
平裝本 2.50 元

序 言

为了在地植物学现代发展的水平上深入研究植被，植被的野外研究应该用最新的方法，采用最新的仪器和设备，按统一的方法进行。

在完成这项任务时，本方法指南对地植物学家的野外研究工作将有所帮助。

世界上许多国家都在结合农业和林业的需要，并为了解决一系列理论问题而进行着植被的研究，但在苏联，这种工作开展得特别广泛。

苏联的地植物学是以 B. B. 道库恰耶夫 (Докучаев)、A. N. 克拉斯诺夫 (Краснов)、С. И. 科尔仁斯基 (Коржинский) 等人的工作为基础而产生的，接着自己的道路发展，代表着特殊的、独立的方向，在许多方面它不同于其它地植物学派 (英美学派，法瑞学派，乌普沙拉学派)。同时，苏联学者们也考虑到外国地植物学 [植物社会学 (Pflanzensoziologie)] 的最重要的成就，并以此丰富了地植物学的理论和地植物学的野外研究方法。植被的极大多样性和科学所面临的任务，以及理论观点方面的差异，决定了在世界实践中存在着大量的野外地植物学研究方法。

到最近为止，植物群落的组成和结构，也就是形态学，以及它们的动态的研究，得到了最大的注意。

苏联许多地植物学家在研究植被的时候还研究环境——植物群落发育所处的自然条件，他们经常记住：群落的生活、演替和结构与环境处于不可分离的相互联系之中。

由于 B. H. 苏卡乔夫 (Сукачев) 制定了关于生物地理群落的学说，使得认识环境具有特别重要的意义。按照苏卡乔夫，植物群

落只不过是更大的自然单位——生物地理群落的部分之一，生物地理群落包括着处于最密切相互作用的植物群落、定居在植物群落中的动物、近地面层大气以及土壤-土质。

大多数研究者在研究植物群落的組成和結構时，并不去揭露由于群落本身的生命活动而在群落本身中以及群落周围的环境中发生的那些过程。实际上，对这些問題應該給予很大的注意，因为，正如 B. H. 苏卡乔夫所指出的，每一种植物群落类型(群丛)都有它特有的物质和能量交換类型。

只有在研究了下列問題的条件下，才有可能解决植物群落因果分析这个非常复杂的任务：1)群落結構(特別是指做为群落結構基本要素的种群和层片)的动态，也就是它們的季节和年际变化；2)进入被研究群落中的种在植物群落环境中的生态-生物学特性；3)植物群落中生理上起作用的环境状况的季节和年际动态。所有这些研究只有在定位的条件下才能全部实现。

还應該注意地植物学研究的一个方面。

近年来的許多著作都表明了土壤微生物(細菌, 真菌, 藻类)在植物群落生活中的巨大生物化学作用；因此，在深入的地植物学研究中，对于这些有机体类群，應該給予比直到現在为止所給予的更多的注意。

因此，按照地植物学理論的現状，在研究植被时，必須組織各种各样的和复杂的野外研究。所有这些研究单靠一个地植物学家进行是不可能的；需要組織綜合的研究，并且吸收許多其他专家参加。

在目前还没有一个完善的方法指南，以上述那种規模叙述了植被的路綫和定位研究的各种野外方法，并且滿足地植物学理論現状的需要。

在二十世紀初期已經开始出現了一些关于研究植被的方法論参考书。其中第一本要算是 1905 年在美国出版的克勒門茨(Clements)的书。以后不久，在 1908 年，俄国出版了 A. Ф. 弗列罗夫(Флеров)和 B. A. 費德欽科(Федченко)合写的植物調查須知，叙

述了研究植物群落的方法。这一著作是我国¹⁾出版的第一本野外地植物研究的方法手册。很快也出現了其它簡要的方法手册：B. H. 苏卡乔夫和許多植物学家編写的《植物-地理学研究綱要》(1909), B. H. 苏卡乔夫、H. A. 布施(Буш)、B. A. 凱勒尔(Келлер)、B. M. 薩維奇(Савич)和P. P. 波列(Поле)編写的并由自由經濟协会出版的《植物地理学研究初步綱要》(1909)。

对于地植物学进一步发展和植被野外研究方法的統一有很大意义的是方法手册——两卷的《植物地理学研究綱要》(1910)的出版,此书系受自由經濟协会土壤委員会所属的植物地理学小組的委托,由当时許多大植物学家編写而成。这一綱要有很大的意义,并且到今天还没有失去它的价值。

Б. B. 阿略兴(Алехин)、B. C. 多克图罗夫斯基(Доктуро-вский)、A. E. 查多夫斯基(Жадовский)和A. П. 伊里因斯基(Ильинский)的論文集(1925)对地植物学理論的制定和植物群落研究方法的深入起了极其重要的作用。这本书叙述了欧洲地植物学派的基本原理和概念以及野外研究的若干方法。还應該指出B. H. 苏卡乔夫(Сукачев, 1919, 1927—1931)、A. A. 格罗斯盖姆(Гроссгейм, 1931)、B. B. 阿略兴等(Алехин и др. 1933; Алехин, 1938)、Л. Г. 拉緬斯基(Раменский, 1937, 1938)編写的一系列其它方法手册。

苏联科学院植物研究所地植物学組集体編写的方法手册——《地植物学研究綱要》(1932)和《野外地植物学研究方法》(1938)的出版是植被野外研究方法的一个重要发展阶段。在本书中根据苏联地植物学家所积累的大量工作經驗,按植被类型叙述了野外地植物学研究的方法。最后,一些地植物学家[B. H. 苏卡乔夫, E. M. 拉甫連柯和И. B. 拉林(Ларин)主編]編写的《地植物学研究簡明指南》(1952)是最近的一本方法手册,它是为了防护林营造和飼料获得問題研究植被而写的。

1) 指苏联,以后在本书中使用“我国”或“我們”的地方,根据上下文語气凡是能改譯成“苏联”的,一概改譯成“苏联”。——譯者注

不久以前出版的 B. H. 苏卡乔夫(1957)的著作¹⁾具有非常重要的意义，在这个著作中引述了关于植物群落实质的若干理論原理，以及关于植物群落研究的今后任务。

还有大量的討論个别植被类型(草甸, 沼泽, 森林, 草原, 冻原等)的研究方法的专门性方法論著作和手册，在这里就不一一列举了。

應該提到国外出版的关于研究植被的最重要的方法手册。留貝尔、什略脫、布罗克曼-耶罗什 (Rübel, Schröter, Brockmann-Jerosch, 1916)、留貝尔(Rübel, 1922)、坦斯黎 (Tansley, 1923, 1946)、克納普(Knapp, 1948)、斯卡莫尼 (Scamomii, 1955) 以及若干其它的著作可以列入这类。

加姆斯(Gams, 1918)的著作有特別的意义，在他的著作中分析了一系列有关植物群落研究的重要原則問題。在裘利耶 (Duerietz, 1930) 的著作中詳細地叙述了烏普沙拉地植物学派研究植被的特殊的統計-分析法。布瑙-布朗喀 (Braun-Blanquet, 1928, 1951)的著名的植物社会学指南論述了法国-瑞士学派研究植被的各种方法。在美国和英国采用的研究割草場和放牧場植被的方法在布朗(Brown, 1954)的著作中有詳細的介紹，該书現已譯成俄文 (Brown, 1957)。

一些捷克科学家所編写的指南 —— «Praktikum fytocenologie» (1954) 也是一本很重要的方法論参考书；在其中詳細地叙述了研究植物群落及其生长环境的方法。

苏联科学院 B. Л. 科馬罗夫植物研究所出版的《野外地植物学》是最完全的方法指南，在本书中：1)叙述了在研究植被时所必須知道的地植物学基本理論問題；2)介紹了植被野外路綫調查和定

1) 指 B. H. 苏卡乔夫等的《林型研究方法》(Методические указания к изучению типов леса) (1957 年苏联科学院出版社出版)。此书于 1961 年出版修正和补充过的第二版，我国林业出版社在 1958 年出版了第一版的譯本 (毕国昌譯)。
——校者注

位研究的大量現代方法，并引述了对这些方法的批判性評价；3)指出了制訂野外路綫調查和定位研究方法的今后方向和旨在探討地植物学理論及其实际应用的植被研究的今后任务。

《野外地植物学》将分四卷出版。

第一卷評述植物群落的基本規律和研究它們的途径，以及自然条件(气候、地形、水文、土壤)的研究方法，組成群落的各个植物体中所发生的生理过程(蒸騰作用、光合作用、呼吸作用、矿质营养)和植物群落的低等成分(細菌、真菌、藻类)的研究方法。

第二卷将描述形成植物群落的植物的生物学的研究方法：有性繁殖(开花和授粉，結实，种子和果实的传播)、营养繁殖和增长、植物的物候和植物年齡的測定。

第三卷将介紹研究植物群落的方法：群落地上部分和地下部分的全面研究，群落物候学，群落生物学生产率和經濟生产率的計算，种群年齡組成的确定，植物群落和环境之間的物质交換的研究，群落演替、植被复合性的研究。在本卷中还将討論地植物学測量和大中比例尺地植物图的編制方法。

第四卷将評述植被的各个类型和組(冻原，森林，沼泽，草甸，草原，荒漠，水生植被，人工群落)的研究方法以及山地工作的若干特点。

《野外地植物学》主要是由苏联科学院植物研究所地植物学組研究員集体准备的，但本所其他組和苏联科学院系統的許多机构以及高等学校的工作人員参加了个别章节的编写。

本书各卷計劃在 1959—1962 年出版。

A. A. 科尔恰金和
E. M. 拉甫連柯
(李 恒譯，陈昌篤校)

关于植被野外研究的一般方法論参考书

Алехин В. В. 1938. Методика полевого изучения растительности и флоры. 2-е изд. Наркомпрос, М.

Алехин В. В., Е. М. Брадис, Е. И. Филиппович, А. П. Шиманюк, К. Ф. Яковлев. 1933. Методика краевого изучения растительности. Под ред. В. В. Алехина. Изд. «Советская Азия», М.

Алехин В. В., В. С. Доктуровский, А. Е. Жадовский, А. П. Ильинский. 1925. Методика геоботанических исследований. Изд. «Пучина», М.—Л.

Алехин В. В. и Д. П. Сырейщиков. 1926. Методика полевых ботанических исследований. Изд. Гос. Тимирязевск. н.-исслед. инст., сер. Х. Библиотека краеведа, вып. 1. Вологда.

Гроссгейм А. А. 1931. Программа и методика работ на геоботанических и стационарных пунктах. Тр. по геоботан. обслед. пастбищ ССР Азербайджана. Сер. С. Работы стационарных пунктов, вып. 5.

Краткое руководство для геоботанических исследований в связи с полезащитным лесоразведением и созданием устойчивой кормовой базы на юге Европейской части СССР. Под ред. В. Н. Сукачева, Е. М. Лавренко и И. В. Ларина. 1952. Изд. АН СССР, М.

Методика полевых геоботанических исследований. 1938. Изд. АН СССР, М.—Л.

Предварительные программы для ботанико-географических исследований, изданные Ботанико-географической подкомиссией при Почвенной комиссии Вольного экономического общества. Составлены В. Н. Сукачевым, Б. А. Келлером, Н. А. Бушем, В. М. Савичем, Р. Р. Поле. 1909. СПб.

Программа почвенно-ботанического обследования болот и лугов. Материалы по организации и культуре кормовой площади, вып. 3. 1913. Изд. Департ. земледелия, СПб.

Программа для ботанико-географических исследований. Леса, луга и болота. Составлены В. Н. Сукачевым при участии Б. А. Арапова, М. Ф. Короткого, С. М. Филатова и М. М. Юрьева. 1909. Изд. Псковск. губ. земства.

Программы для ботанико-географических исследований, вып. 1, 2. 1910. Изданы Ботанико-географической подкомиссией при Почвенной комиссии Вольного экономического общества. Бесплатное приложение к «Лесному журналу» за 1910 г. СПб.

Программы для геоботанических исследований. Составлены коллективом геоботаников под редакцией Б. А. Келлера и В. Н. Сукачева. 1932. Изд. АН СССР, Л.

Раменский Л. Г. 1937. Учет и описание растительности (на основе проективного метода). Изд. Всесоюзн. акад. с.-х. наук, М.

Раменский Л. Г. 1938. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. Сельхозгиз, М.—Л.

Сочава В. Б. 1950. Изучение флоры и растительности. Справочник путешественника и географа, т. II. гл. XXV. Географгиз, М.

Сукачев В. Н. 1919. Общие задачи, программа и организация изучения растительных сообществ в долине реки Чу. Растительность долины реки Чу в Семиреченской области, вып. VII. Пгр.

Сукачев В. Н. 1927. Краткое руководство к исследованию типов лесов. Изд. «Новая деревня», М.; изд. 2-е, 1930, Сельхозгиз, М.—Л.; изд. 3-е, 1931, Сельхозгиз, М.—Л. (Изд. 2-е и 3-е: Руководство к исследованию типов леса).

Сукачев В. Н. 1950. Стационарное изучение растительности. Предварительные программы стационарных комплексных биогеоценотических исследований. Землеведение. Сб. Моск. общ. испыт. природы, Нов. серия, т. III (XLIII). М.

Сукачев В. Н., С. В. Зонн, Т. П. Мотовилов. 1957. Методические указания к изучению типов леса. Изд. АН СССР, М.

Флеров А. Ф. и Б. А. Федченко. 1908. Инструкция для ботанических исследований. СПб.

Braun-Blanquet J. 1928, 1951. *Pflanzensoziologie*. Auf. 1 (1928), Auf. 2 (1951), Wien.

Brown D. 1954. Methods of surveying and measuring vegetation. Commonwealth Bureau of Pastur. a. Field Crops, Bull. 42.

(Brown D.) Браун Д. 1957. Методы исследования и учета растительности. Перевод с англ. Изд. иностр. лит., М.

Clements Fr. 1905. Research methods in ecology. Lincoln.

Du Rietz G. E. 1921. Zur methodologischen Grundlage der modernen Pflanzensoziologie. Upsala.

Du Rietz G. E. 1930. Vegetationsforschung auf soziations-analytischer Grundlage. Handb. d. biol. Arbeitsmethoden, Abt. XI, Teil 5, H. 2. Berlin.

Gams H. 1918. Prinzipienfragen der Vegetationsforschung. Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Bd. LXIII.

Kästner M. 1919. Wie untersuche ich einen Pflanzenverein? Biol. Arbeit, H. 7. Leipzig.

Knapp R. 1948. Arbeitsmethoden der Pflanzensoziologie und Eigenschaften der Pflanzengesellschaften. Einführung in die Pflanzensoziologie, H. 1. Stuttgart.

Markgraf Fr. 1926. Praktikum der Vegetationskunde. Biologische

Studienbücher. Berlin.

McLean R. C. and I. Cook. 1946. Practical field ecology. London.

Praktikum fytocenologie, ecologie, klimatologie a půdoznalství. Redigovali: J. Klika, V. Novák, A. Gregor. 1954. Praha.

Rübel E. 1922. Geobotanische Untersuchungsmethoden. Berlin.

Rübel E., C. Schröter, H. Brockmann-Jerosch. 1916. Programme für geobotanische Arbeiten. Beitr. geobot. Landesaufnahme, Bd. 2. Zürich.

Scamoni A. 1955. Einführung in die praktische Vegetationskunde. Berlin.

Tansley A. G. 1923. Practical plant ecology. London.

Tansley A. G. 1946. Introduction to plant ecology. A guide for beginners in the study of plant communities. London.

目 录

序言 A. A. 科尔恰金和 E. M. 拉甫連柯

植物羣落的基本規律及其研究途徑

植物群落的基本規律及其研究途徑 E. M. 拉甫連柯

生物圈、植物地圈和生物地理群落	1
植物群落和群落中植物間的相互关系	5
植物群落的結構	11
植物群落生态学	30
植物群落的演替	53
植物群落的分类和地理学問題	65
为了国民經濟的需要而研究植被	75
参考文献	78

植物羣落自然条件的研究

地植物学研究时的地貌觀察 H. H. 索科洛夫

引言	86
关于进行野外地貌觀察的一般說明	87
低地和高地侵蝕地形的研究	96
低地和高地冰川地形的研究	102
山地地形的研究	106
地貌研究的基本任务	110
参考文献	111

地植物学研究时的小气候及其研究方法 B. П. 卡罗里

基本原理和概念	115
在不同地形条件中的小气候	118
在相对平坦地方条件中的小气候	118

切割地形条件中的小气候	119
不同植被类型的小气候	123
草本植被(草甸、草原)的小气候	124
沼泽的小气候	126
森林的小气候	128
农田的小气候	132
水体对小气候的影响	135
湖泊和大型水库滨岸的小气候	135
植物丛生的浅水湖上层水温和水上气温的特性	136
河漫滩小气候	137
灌溉地区的小气候	137
小气候研究方法	139
基本知識	139
小气候研究的組織	140
観測的組織	142
観測时间	143
野外小气候観測的持续时间	144
用于小气候観測的仪器	144
控制站的装备	146
路綫観測点(哨)的装备	151
観測程序	152
観測的记录和整理	154
参考文献	159
地植物学研究时的基本水文勘查	
..... И. Н. 貝德曼和 P. A. 費連柯	
关于地表水和地下水的一般知識以及这些水与植被的	
相互作用	161
地表逕流	162
河流	167
河漫滩	169
地下水	173
植被和潛水	175
潛水的地帶性	188

通气带的水	192
灌溉	202
地植物学研究时的水文研究方法	204
路綫調查	205
河流的記載以及水体和水道的研究	205
潛水的研究	207
水文图和水指示图的編制	209
定位研究	212
河流状况的研究	213
沼泽状况的研究	218
潛水状况的研究	219
土壤水分状况的研究	226
地方水分平衡的确定	233
参考文献	237
論土壤形成因素和土壤过程	A. A. 查瓦里申
引言	247
土壤形成因素	248
主要土壤过程和土壤剖面	263
参考文献	271
地植物学研究时的野外土壤研究方法	T. A. 罗日諾娃
引言	273
野外工作的准备	273
野外土壤調查的任务和若干方法	277
土壤形态剖面的研究	281
土壤图的編制和野外資料的整理	285
参考文献	290
 植物羣落成分的生态-生理学研究	
陆生植物光合作用研究方法概述	O. B. 查連斯基
引言	291
关于植物同化作用的指标	293
光合作用强度	294

光合作用对外界环境因素的关系	298
光合作用的潜在强度	302
光合作用的动态	303
光合作用产物的质的組成和同化物的流出	303
作为植物生产率因素的光合作用	304
关于光合作用研究方法的分类	305
根据吸收二氧化碳的溶液的滴定度变化测定光合作用	308
根据测量指示溶液的 pH 值以测定光合作用	322
根据碱性吸收溶液导电性的测量测定光合作用	334
用红外线吸收自动记录器(URAS)测定光合作用	344
根据放射性碳的吸收情况测定光合作用	346
根据有机物质重量的增加测定光合作用	358
結論	361
参考文献	363
 陆生植物呼吸作用的生态学研究方法概述和基本原則	
.....	O. A. 謝米哈托娃
引言	374
呼吸作用测定方法簡述和分类	375
在生态学研究中說明呼吸作用特征的指标	386
选择测定呼吸作用的方法的基本原則	389
結論	392
参考文献	393
 自然生长条件下植物蒸騰的研究	
.....	B. M. 斯維什尼柯娃
蒸騰研究的任务	398
决定蒸騰变化的因素	399
蒸騰指标	402
测定蒸騰强度的方法	403
测定植物蒸騰的定量方法	403
植物剪下部分蒸騰的测定方法	403
测定整株植物水分支出的方法	406
测定植被水分消耗的方法	408
测定植物蒸騰的定性方法	411
关于蒸騰值的計算	412

在自然条件下研究植物蒸騰时进行試驗的順序	414
参考文献	416
植物土壤营养的研究方法.....	М. Г. 查依采娃
引言	421
植物材料的分析	424
营养法	428
根据营养溶液浓度的改变計算物质的吸收情况	430
示踪原子法的应用	436
参考文献	439

在研究植被时的植物区系研究

地植物学研究时的植物区系研究.....	А. И. 托尔馬却夫
地植物学研究时的植物医学研究	442
参考文献	455

植物羣落低等成分的研究

作为植物群落成分的大型真菌的研究.....	Л. Н. 瓦西里耶娃
植物群落中的真菌	461
群落中真菌的定位研究方法	465
群落中真菌和真菌层片的路綫調查方法	473
参考文献	474

植物群落中藻类的研究方法	М. М. 戈列尔巴赫和 Л. М. 查烏耶尔
引言	476
藻类的采集方法	478
藻类标本的整理和研究方法	484
研究质的組成	484
数量統計	489
参考文献	490

土壤微植物区系的研究方法.....	Т. В. 阿里斯托夫斯卡娅
引言	492
微生物工作的技术特点	493

在路線及定位研究时微生物研究的組織	500
土壤微植物区系的研究方法	501
埋片法	501
土壤微生物分析的土样采集	504
微生物分析	505
微生物的直接計數法	506
按 Д. М. 諾沃格魯德斯基法確定微生物总数	508
以平板稀釋法確定微生物数量	509
用极限稀釋法確定微生物数量	513
微植物区系的类群組成分析	514
根际微生物的研究	520
参考文献	521

植物群落的基本規律及其研究途徑

植物群落的基本規律及其研究途徑[†]

E. M. 拉甫連柯(Лавренко)

(苏联科学院植物研究所地植物学組)

生物圈、植物地圖和生物地理群落

生物圈 七十多年以前著名的地质学家 Э. 苏斯 (Suess, 1875) 建立了关于生命圈的概念，并把相应的术语——“生物圈” (биосфера) 引进到科学文献中。

在 B. И. 維爾納茨基 (Вернадский, 1926 a, 1934, 1942) 的討論生物圈，也就是生活物质及其生命活动产物所集中的圈的卓越著作发表以后，生物圈就必须按該学者給它所規定的范围来理解。維爾納茨基 (1934) 給生物圈这样的定义：“在生物圈中可以区分出若干个地圈：它由三个地圈的总合組成：对流层 (气态地圈下层)，水圈和风化壳 (固态地圈上层)。生物圈是地壳的一部分”。如果注意一下維爾納茨基关于地球地圈問題的最后的意見，注意一下他的 1942 年的著作，那么作为地壳的生物圈对于地壳的

* 在本文中作者給自己提出的任务是以压缩的形式說明植物群落所特有的基本規律以及研究这些規律的途径。关于植物群落的比較詳細的报导可參閱 B. H. 苏卡乔夫 (1928)、И. 布瓈-布朗喀 (1951) 和 Б. A. 貝科夫 (1957) 的著作。作者非常感謝曾对本文提出意見的 B. H. 苏卡乔夫、A. A. 科尔恰金、B. M. 波尼亞多夫斯卡娅、B. M. 斯維什尼科娃和 A. A. 尤納托夫。

† 本文曾由李博、楊澄、刘钟龄根据作者打印稿譯成中文，并于1959年由科学出版社以专册出版。为求本书完整起見，現在进行重譯，重譯时曾参考了李等譯文，特于此致謝。——譯者注

比較詳細的划分(各种地圈)¹⁾的关系将是这样：生物圈包括平流层的下层、整个对流层以及沉积岩圈(也就是岩石圈的“成层”部分，基本上由沉积岩組成，常常在这种或那种程度上也有变质岩参加)和水圈。在地面以上生物圈达到大致 23 公里的高度，而在地面以下延伸到 12 公里的深处。

植物地圈 B. И. 維爾納茨基曾經指出：在生物圈中进行着生命、大气圈、水圈和岩石圈(风化壳)的相互渗透。生物圈中的生命最强烈地影响所有这些地圈。他也指出过，在生物圈(广义的)中存在生命的主要集中层，他以不同的名称：“生命层”、“活质层”、“生命集中区”、“生命膜”等等称呼这一层。因此，在广义的(按維爾納茨基的理解)生物圈以外，还必須区分出特殊的生命主要集中的地圈。这一地圈我們建議称为**植物地圈**(фитогеосфера) (Лавренко, 1949)，因为植物在这一地圈内能的积聚中起着主要的作用。

植物地圈不仅被理解为活质(植物和动物)的总体，而且也包括充满有机体的那个环境(固体的、液体的、气体的)²⁾。在陆地上，植物地圈的范围除了包括生物群落以外，还包括植物能达到的和高出植物以上几十米(达10—30米)的对流层下层以及連同底土的土壤——植物根系、丰富的微生物和动物(土壤的居住者)集中的地方。如果說，按 B. И. 維爾納茨基理解的生物圈的厚度(从下到上)在陆地上和在海洋中以几十公里量度的話，那么植物地圈的厚度在陆地上以几米或几十米(很少达到 100 米或更多)量度。在海洋中，植物地圈的特点是通常厚度比陆地上要大得多。

植物地圈是它的基本成分——活质及其生存条件的辩证统一体，这一概念在許多方面极为重要。首先，植物地圈仿佛是生物圈

1) B. И. 維爾納茨基区分出比較广泛的概念“地壳”和比較狭窄的概念，“其它等級”——“地圈”。

2) 这一地圈似乎可以叫做“植物圈”，但 B. Б. 索恰瓦(1944)已經以另一种意义使用了这个术语，用它来标记脱离作为植物群落(以及整个生物群落)居住环境的对流层下层和土壤-土质而抽象出来的植被(植物群落被覆)。

的基本部分，在这里植物进行着太阳能的固定，在这里实现着生物性的岩石形成，在这里有机体分泌着气体，这些气体充满了大气圈和水圈，等等。植物地圈正是这样一个地圈，在这个地圈里过去进行过（在过去的，现在成为化石的植物地圈中）和现在正在进行着有机界的发展及其进化。最后，植物地圈在很长的时间内都是在其中进行人类和人类社会发展的地球的唯一的圈。这无论如何涉及到巨大的时间间隔——从旧石器时代到现代。随着人类社会的逐渐发展，改造着植物地圈和人类圈（антропосфера）——人类基本的居住环境。目前，人类在自己的实践活动中几乎达到了广义的整个生物圈，并且开始进入宇宙空间。

应该指出，关于植物地圈的概念并不是新的。还在P. И. 阿波林（1914:1—2）就曾经把地球的这一圈称做“表生圈”（эпигенема），并给以如下的定义：“原生岩石表面变成厚层的‘风化壳’，风化壳分解为一系列所谓表面的，或表生的形成物，或简称为表生层（эпигены），这就是：地形、土质、土壤、植被……所有表生层的总体乃是一种复杂的地理现象，复杂的综合形成物，以表生圈的形式覆盖着从赤道到两极的整个陆地”。阿波林的这些思想他自己没有继续发展。他所建议的术语“表生圈”没有流传开来。加之，他不是同级地对待其余地圈的命名（Вернадский, 1926 а, 1934, 1942）。因此我们建议以“植物地圈”这一术语代替“表生圈”，这样更能反映这个概念的实质。

植物地圈可以区分为若干类型。

基本的，或表层的植物地圈几乎覆盖整个陆地，包括所有的小的水体（从它们的表面到底部）和深的湖泊、海洋从水的表层到350—400米的深处。在陆地上，植物地圈的厚度通常不超过100米，很少达到120—150米。这个表层植物地圈自然地分为陆地部分¹⁾和水中部分。除了这个被阳光照射的表层植物地圈以外，在

1) 在陆地植物地圈中不仅应该包括植物（包括树木在内）的植冠，而且也应该包括植冠之上的对流层，在这个对流层中进行着花粉和孢子以及种子的基本物质量的转移。

深水体的底部有水下(水底)植物地圈,那里的植物型式(растительный форм)主要是細菌。

显然,还可以談到地下植物地圈,指的是处于伴随着石油、达到1,700米的深度的层間水中的那些絳紅色的硫磺細菌集群。看来,这些細菌的发育和繁殖依賴有机物质进行,而这种有机物质是石油及其产物(Исаченко,1939)。

生物地理群落 陆地表面的植物地圈可以划分为許多生物地理群落(биогеоценоз), B. H. 苏卡乔夫(1942,1945,1947,1957)曾經制定了关于生物地理群落的概念。

B. H. 苏卡乔夫給出的定义是这样:“生物地理群落是地表的一个地段,更确切地說,是 B. И. 維爾納茨基所理解的生物圈的一个地段¹⁾,那里在一定空間內,生物群落以及与之相适应的大气圈、岩石圈、水圈和土壤圈的部分保持一致,并且它們之間的相互作用具有相同的性质。可以簡短地这样表示:生物地理群落=生物群落(植物群落+动物群落)+生境(土壤环境+气候环境)”。通常,各个生物地理群落的边界根据植物群落确定。土壤环境和气候环境被理解为符合于該生物群落所处空間的土壤地段和大气部分。

关于生物地理群落的概念在文献中也不是完全新的。显然,英国植物群落学家A.坦斯黎(Tansley,1939,1946)的“生态系”概念和Л. С. 别尔格(Берг,1945)所解释的“相”的概念都非常接近于“生物地理群落”概念,或甚至和它相同。Г. Ф. 莫罗佐夫(Морозов,1912,1949)在他的关于森林的學說中实质上是把森林看作生物地理群落,虽然并未使用这一术语或与此类似的术语。

B. H. 苏卡乔夫也确定了生物地理群落的分类单位。他认为基本单位是“生物地理群落型”,相当于植物群落学中的植物群丛概念。B. H. 苏卡乔夫引用林型的划分来作生物地理群落类型学的例子。

1) 当然,生物地理群落是 B. И. 維爾納茨基所理解的生物圈的一部分,但是这个意思是說好象砖头是大建筑物的一部分一样。

B. H. 苏卡乔夫在他的許多著作中都強調綜合地研究生物地理群落的必要性；只有这样的研究途径才可能提供在理論方面和实践方面重要的結果。“所有这些綜合研究的基本任务在于，使得有可能更加接近于清楚了解該生物地理群落各成分之間，它們与其它生物地理群落之間以及一般地說与其它自然現象之間的物质和能量的交換和轉化过程”(Сукачев, 1957:30)。

植物群落和群落中植物間的相互关系

植物群落(Фитоценоз,或растительное сообщество)¹⁾ 是生物地理群落最重要的組成部分，可以說，它是一个“动力的裝置”，因为正是在植物群落中，植物进行着太阳能的固定过程。

B. H. 苏卡乔夫在他最近的一篇著作中給植物群落下了这样的定义(1957:15)：“植物群落被理解为在一定地段上的全部具体植被，它具有一致的組成、层片結構和組配¹⁾并且植物之間以及植物与环境之間的相互作用的性质也相同”。这样一个植物群落的定义可以应用到任何一个或多或少建成了的天然植被地段，也可以应用到許多栽培植物群落，例如，可以应用到作物的播种地，可以应用到乔木树种的栽种地，只要它們的組成一致的話。

按照我們的意見，植物群落應該是植物的任何結合(在自然界中的和在栽培中的)，在这种結合中在不論是高等的或是低等的植物成分之間觀察到一定的相互作用(直接的和通过环境的)。

生物地理群落和植物群落的研究是最困难的科学問題之一，这是由于这些形成物的結構的复杂性以及它們随时间前进而不断地变化。

植物之間的相互关系和植物与环境之間的相互作用的研究是植物群落因果分析的基本任务之一。

1) 原文是“сложение”，过去譯为“壘結”，考虑到“壘結”二字不通俗，也不够确切，此处暫譯为“組配”。——譯者注

植物群落中植物之間的相互关系可以分为直接的和間接的。

植物之間的直接相互关系在大多数情况下是接触的相互关系 (Сукачев), 这种关系本身又可分为許多类型 (Braun-Blanquet, 1951; Корчагин, 1956; Сукачев, 1956; Быков, 1957)。

寄生相互关系广泛存在于植物界。数量特別多, 并且常常大量散布的是使高等植物罹病的寄生真菌 (锈菌, 黑粉病菌)。生活在高等植物上的寄生有花植物分布較少。常常在某些植物群落中大量地发育所謂半寄生植物 (*Melampyrum*, *Rhinanthus*、*Euphrasia* 等的一些种)。寄生植物(特別是真菌)和半寄生植物的大量发育可以显著地影响植物群落的自养成分, 强烈地減低它們的竞争可能性。

共生相互关系 由于这种关系的結果两种成分(共生成分)在这种或那种程度上从共同生活中彼此取得利益。共生相互关系在自然界中分布也十分普遍。特別經常見到的是菌根, 也就是真菌与高等植物在后者根部的共生。苏联有大量的乔木和灌木以及許多草本植物属于菌根植物。高等植物与細菌和放綫菌的共生現象也分布很广。大家知道, 大多数豆科植物在根“瘤”中有根瘤細菌共生, 这些根瘤細菌从进入根細胞間隙的空气中吸收氮。細菌消耗高等植物所合成的碳水化合物, 而高等植物利用細菌所制造的含氮物质。“根瘤”共生現象在一系列的乔木树种上 观察到, 例如, 赤楊、胡頹子、沙棘等等的种。赤楊的第二个共生成分大概是放綫菌。

在低等植物中, 藻类和真菌的共生現象¹⁾也是大家都知道的。

低等植物在促进高等植物的营养时, 当然能够提高高等植物的生活力, 因而影响到它們的竞争特性。除此以外, 在豆科植物根系死亡时, 根瘤細菌提高土壤的自然肥力, 以可給态含氮化合物丰富土壤。

1) 共生現象的典型例子是地衣。然而在該情况下真菌和藻类的共生关系是这样的密切, 以致形成特殊的“联合”有机体。大家都知道, 地衣是属于特殊的“地衣”的种、属、科, 但它們在系統上仍然接近于真菌。

在寄生現象和共生現象之間有過渡現象。

生理相互關係是同一个種的個體之間根系連生的結果，在許多喬木樹種上都觀察到¹⁾。根據已有資料，在稠密的雲杉林和松林的某些地段，30%的樹木發生根連生現象。在這種情況下有時觀察到發育較弱樹木的被抑制現象，因為發育較好的樹木截走了它們的水分和營養物質，其結果可能加速被抑制樹木的死亡。類似的生理相互關係還研究得很不夠。

生物化學相互關係 由於有機體在生命活動過程中向外界環境分泌有機起源物質而發生，在一些情況下對這些或那些鄰近的有機體是有利的，在另一些情況下是不利的。Г. Ф. 加烏捷(Гаузе, 1944)建議把關於這種相互關係的學說叫做“化學生物群落學”。

近來發現，這種相互關係在植物界有非常廣泛的分布，它們的植物群落學意義无疑是很大的。

G. 格留美爾(Grümmer, 1955)區分出一系列生物化學相互關係類型：1) 對等感染(аллелопатия)，也就是藉助於分泌(根和地上器官)抑制素(колина)，一些高等植物影響另一些高等植物；2) 植物殺菌素的影響：高等植物藉助於分泌植物殺菌素(фитонцид)對微生物發生影響；3) 調萎影響：微生物藉助於調萎素(марказин)影響高等植物；4) 抗生影響：通過抗生素一些微生物影響另一些微生物。

沒有疑問，植物的這類生物化學影響在植物群落的生活中起着非常大的作用，它影響植物種間的相互關係，在許多情況下完全消除了某些種在一定組成的植物群落中發展的可能。曾經有過這樣的極其可能的推測：在某些情況下所謂單種或少種群落主要的不是由於絕對優勢種的競爭能力，也就是它積極利用環境條件的能力，而是由於它分泌出一些對許多其它植物種不利的物質的緣故。

可惜的是，所有這些生物化學影響，特別是在具體植物群落中

1) 寄生和共生相互關係也是生理相互關係，也可以列入廣義理解下的生理相互關係這一組中。

的它們的影响,还研究得极其不够,虽然关于这些問題已經有了一系列的,主要以實驗研究为基础的綜合著作(Grümmer, 1955; Чернобrivенко, 1956)。

机械相互关系 发生在植物很紧密靠近的情况下。一颗树的树冠被另一颗树的树枝“撞击”的現象属于这一类。在針叶林中混生有相当数量的樺树时特別清楚地觀察到这种現象。在被樺树枝条强烈撞击的情况下,松树的針叶可能全部被撞掉,而在撞击程度較弱时,也要撞掉 25—30%,撞击現象当然抑制受損害的树木。

籐本植物和具有稳固树干的树木之間的相互关系也可以列入这种机械相互关系类型,在这种情况下树木作为籐本的机械支柱。在溫带森林中籐本植物不起显著的作用,但在亚热带的,以及特别是热带的或多或少潮湿的森林中籐本植物非常多,它們的丰富发育可以抑制常常是非常粗壮和高大的树木。

附生相互关系 在这种情况下植物的个别部分(树干、树枝、部分叶子)作为另一些較小的植物的居住地,在我們这里主要是藻类、地衣和蘚类,而在亚热带和热带地方,也有蕨类和有花植物。附生植物与宿主沒有任何生理的、甚至生物化学的接触,它們只是生长在这些植物的表面上。附生植物完全是自养植物,依靠积聚尘埃和树皮表面腐烂的死亡部分进行营养。附生植物和在土壤中具有根系的籐本植物之間存在着过渡类型;这就是籐本-附生植物。

溫带地方的附生植物不起显著的植物群落学作用,但在潮湿热带森林中,它們在植物群落中的作用可能相当的大,这既表現在总植物物质(растительная масса)方面,也表現在它們的环境形成作用方面(使穿过林冠的光量减少),甚至它們的重量对树枝也有机械影响。

从这个簡短的概述中可以看到,植物之間的直接相互关系对植物群落中植物的生活、組成和結構的影响,在某些情况下可能非常巨大。特別是涉及到生物化学的、共生的以及部分寄生的相互关系。可惜,地植物学家在他們的具体工作中很少考慮到这些相互关系。

植物在它們共同生活时它們之間的間接相互关系是很普遍的；通常将它們分为环境形成的相互关系和竞争的相互关系。

环境形成的相互关系是最普遍的相互关系之一。

在 B. И. 維爾納茨基的著作 (1926 a, 1934, 1942) 問世以后，特別加深了关于植物的环境形成作用的觀念，B. И. 維爾納茨基曾經指出生命，特別是植被，对于在地球地质历史进程中地球外壳——对流层、岩石圈和水圈的形成的巨大全球性的意义。他 (1926 a:25) 写道：“在地球表面，沒有比整个生活有机体更加經常地起作用，因而在自己的最終后果方面更为强大的化学力量了”。并且指出：“在地壳上沒有一个巨大的化学平衡不表現出生命对它的基本影响，生命对地壳的所有化学作用烙上不可磨灭的印痕”。

大气圈的气体成分以最直接的形式与有机体的生命活动，如光合作用、呼吸作用等等过程相联系。不仅土壤，就是岩石圈中的沉积岩也是整个地，或至少在活质的大量参加下創造的。水圈也同样充滿着有机起源的物质。在地壳的大量化学元素的循环中，有机体起着特別巨大的作用。含有叶綠素的有机体固定着太阳能，因而使太阳能参加到地球过程中。

在形成生物圈的所有过程中主要作用也属于植物和它們的組合——植物群落。这些大气圈、岩石圈和水圈被植物群落的改造过程永无休止地繼續着，并且它們的性质在很大程度上依賴于植物群落的組成和結構。

在环境形成作用中，也就是說在植物群落內物质和能的交換中，起特別巨大作用的是优势植物，特別是所謂建群种，或植物群落的建設者，也就是主要层(森林中的乔木层，草甸和草原中的草本层等等)的优势种。在这方面特別明显地表現出来的是植物群落中各成分間的环境形成的相互关系。例如，高位沼泽上的泥炭藓被层完全制約着作为这个群落的其它居住者的基质的水文和小气候特点。在森林中，植物气候条件基本上是由乔木层，主要是其中的优势乔木树种創造的；树木也最强烈地影响土壤。然而在象森林那样的复杂群落中，从属层次也起着或大或小的环境形成作用。

例如，在具有藓被的泰加林中，藓被非常强烈地影响小气候和土壤的水分状况。森林中的下层——小灌木-草本层和地被层(藓类层)——在很大程度上为乔木树种的幼苗创造了生存条件。

竞争相互关系 象环境形成相互关系一样也是普遍存在的。植物群落同居者之间的这两种非直接相互关系的形式常常很难彼此分开，它们在自然界中永远是相互交错的。

大家知道，达尔文曾经认为，竞争相互关系在有机界的发展中起着非常巨大的作用。A. П. 谢尼科夫(Шенников, 1938 а)曾经强调过达尔文的这种见解对植物群落学的意义。

有机界中的竞争现象，其中包括植物为了取得发芽以及进一步生长和发育的空间，为了水分和营养物质(后者特别是在土壤中)的竞争现象联系着它们的生长和繁殖，关于这点还在达尔文就曾经指出过。B. И. 维尔纳茨基在自己的关于“繁衍”(растекание размножением)的学说中继承并发展了这些思想。

“生物圈中绿色活质的繁衍乃是地壳上最特征的和最重要一种机制的表现。它对于所有的活质，不管是没有叶绿素的或是具有叶绿素的，都是共同的，它是生物圈中全部生命的最可作为特征的和最重要的现象……是包括生物圈全部空间的生命能的形式……活质沿地球表面的展布乃是地球的不可避免地运动着的能的表现，生物圈中新的空间被由于繁殖而新创造的有机体所占据的表现……这种能量表现在生命所进行的工作中，——在化学元素的转移中和在由化学元素创造新的躯体的过程中。我将称它为生物圈中生命的地球化学能”(Вернадский, 1926 а:30, 31)。

按照 B. И. 维尔纳茨基的意见(1926 б)，根据“单位时间内所创造出的个体的数量，和完全成熟状态下它们的重量”可以确定这种地球化学能。有机体占据新的空间就是这种地球化学能的表现。然而，“除了决定于生存斗争的该面积的大小之外，最重要的是同一时间内处于该面积上的同类活质具有不同的地球化学能”。

最不相同的形态和生理特性促使这些或那些种在为了空间、土壤中的水分和营养物质等等而进行的竞争中取得胜利。属于这

些特性的有：多量的种子、种子具有对迅速传播的适应、在水分最少时种子迅速发芽的能力、幼苗和成年植株的快速生长、从土壤中迅速地吸取水分和较节省地消耗水分的生理特性等等。

植物群落中，不論是直接的或是間接的（通过环境）植物相互关系的研究是有意义的，但是复杂的任务。在自然界中直接的、深思熟虑的觀察可以提供許多材料。对于研究所謂机械的和附生的相互关系这种觀察可以获得几乎詳尽无遺的資料。对于认识寄生相互关系在自然界进行觀察意义也是很大的，但是这里在一系列情况下显示出實驗工作的必要性，因为實驗工作对于比較精确地估計在其它条件相同的情况下寄生植物对这些或那些植物所带来的危害程度是必要的。

共生相互关系的研究 除了在自然界觀察以外，需要設置具有一定成对共生成分的試驗，以便用生理方法更深入地认识这些現象。

只有借助于布置相应的實驗才能揭露生物化学相互关系，这种實驗基本上在于把不同的一对植物种栽培在一起并研究它們的分泌物。

植物群落中植物之間的通过环境而实现的間接相互关系的研究最为复杂。在大多数情况下这需要在自然界进行长期的觀察，而有时也需要設置精确的實驗。只有在十分深入研究下列各方面的条件下才能完全地揭露这些相互关系的实质：1)該植物群落各成分的生态学和生物学，并且在它們的个体发育中去研究；2)植物群落組成和结构的季节变化和年际变化；3)植物群落各个成分（种）对这些或那些环境条件的影响；4)生理上起作用的环境状况（生境）的季节变化和年际变化，这种环境状况本身又与其它間接地起作用的自然地理因素密切地相連系。

植物群落的結構

关于植物群落结构的学說通常叫做植物群落形态学。然而必

須指出，植物群落的結構應該从生态季相中和从动态中，在許多生長季期間去觀察。只有这样的处理方法才能把“群落形态学”从局限性的和靜态的描述中解脫出来。

植物群落的基本結構要素是种群、层片和同生群。

种群 (Видовая популяция) 地植物学家在研究植物群落时，通常以主要注意力去統計进入这一或那一群落的种的参加数量，以这种或那种方法确定在被研究的植物群落地段上的多度、优势度(投影盖度)、种的頻度以及它們的重量对比关系(收获量)。实际上，查明种在植物群落中的数量参加度，已經是研究出現在該植物群落中的这个种的种群的第一步。

然而，象 T. A. 拉波特諾夫(Работнов, 1950a, 1950b)所曾經指出过的，我們必須制定出作为群落結構要素的种群的概念，必須較全面地研究植物群落中的种群。关于这个問題，T. A. 拉波特諾夫(1950a: 466)以下列方式說出自己的基本論点：“种群應該被理解为生长在一定群落中的一个种的个体的总体。任何一个种，如果它出現在几个群落中的話，那么都是以特殊的种群出現在它們之中……对于植物群落学最有意义的不是研究种群的基因型組成 (генотипический состав)，而是研究与种群中植物个体在年齡上和生活状态上的差异相联系的种群的物候期組成 (фенофазный состав)……为此必須預先确定在物候型特征上有区别的个体类群。物候型在它們的个体发育过程中随年齡发生改变”。

以上这些論点，除去所談到的研究种群的基因型組成对認識植物群落沒有重要意义这一点外，全部可以同意。当然，就这一点說，事实不是这样。沒有疑問，同一个种可以以不同的生物型(биотип)出現在属于不同群丛的植物群落中。例如，草原放牧場上的草原羊茅(*Festuca sulcata*)属于特殊的牧場生态型(экотип)，不同于割草草原組成中的草原羊茅生态型。鴨茅(*Dactylis glomerata*)在开曠的草甸群落組成中和在橡树林林冠下是属于两个特殊的生态型，等等。

很遺憾，植物群落中种群的生态型組成还研究得极其不够。

T. A. 拉波特諾夫建議在这个或那个种的种群組成中区分出下列物候型状态(个体群):1)有生活能力的种子(果实)或能传播的营养繁殖体;2)幼苗;3)少龄植物(ювенильное растение),这些植物的叶子通常在大小和形状上不同于成年植物,它們又分为:(1)由种子产生的,(2)由营养繁殖产生的;4)青年植物(прематурное растение)(从少龄到成年的过渡);5)处于性成熟(виргинильное)状态的成年营养期个体;6)生殖期个体(在雌雄异株的植物分:(1)具雄花的,(2)具雌花的);7)处于营养状态的性成熟个体(在有些年份中,大多数以前已經开过花的个体不开花,常常在天然群落条件下見到这类植物);8)处于生殖期結束后的生长期的成年个体;9)以根茎和其它地下休眠器官的形式处于强迫休眠状态下的成年个体,这种休眠是由于对该种发育特別不利的条件。

在植物群落中大多数的种如果不是具有属于所有这些物候型群的个体的話,也至少具有它們之中的大多数。但是这些物候型群之間的数量对比关系,不仅在同一群落中的不同植物种之間不同,而且在属于不同群丛的不同群落中的同一个植物种也不同。因此,T. A. 拉波特諾夫(1950 a:467)指出:“如果能确定形成群落的全部种的完全种群組成,并且确定它們的年齡組成,那么在这个基础上似乎可以十分准确地判断群落的过去、現在和部分的将来”。

植物在群落中的作用、它們的数量以及种群的物候型組成决定于三組因素(Шенников, 1938 a,1942): 1)种的生物学特性,2)环境条件的性质, 3)群落中和該种生长在一起的其它有机体的生物学特性。

植物的許多适应特性通常与群落中植物物候型的多样性有联系,这些特性制約着植物种在群落中的稳定性。这些特性如下(Работнов, 1950a:468)。

1. 种子不立刻发芽并且长期保持发芽的能力。这一特性对少年生植物(一年生或二年生植物)特別重要。
2. 植物能够长期处于少龄或青年状态,并滿足于某方面局限

的生存条件。可以援引苏联许多耐阴乔木树种作为例子，这些树种能够长期处于青年状态，只要暂时由于相邻树木的衰亡还没有为它们在林冠中留下空间。

3. 成年植物长期忍受不利生存条件的能力，这时它们并不死去，而只改变自己地上器官的性质，或者，在特别不利的年份，完全不形成地上器官。可以举乌克兰南部草原洼地中的花蘭 (*Butomus umbellatus*) 作为后一情况的例子；花蘭在这里只在特别多雨的年份，当洼地充满水时才发育，而在干旱的年份它只以根茎的形式处于休眠状态，不发育地上器官（Пачоский, 1917）。另外还可以举一个根据我亲自在蒙古人民共和国南戈壁省 Гурбан-Сайхан 中山以北的荒漠草原上看到的例子，那里的山前平原上，于1950年夏季当降落较多的雨水时，在半小灌木-葱类荒漠草原的组成中，丰富地发育了密草丛的多根葱 (*Allium polypyrrhizum*)。在它的每一个草丛上，除去发育了营养枝之外，还发育出颇大量的生殖茎，上面有大的白色花朵组成的繖形花序。八月，上述葱类草原好象真正的花圃。在翌年，干旱的1951年，呈现了另外的图景：夏季，葱类在大多数情况下甚至不发育出营养枝，只有在秋季，在九月末降雨之后，土壤表面才出现绿色的葱类幼枝的“针”。大家也知道，在不利的，特别是干旱的年份，中亚荒漠中 *Seriphidium* 亚属的几种蒿类的性成熟植株不发育生殖枝，而处于营养状态。

在各成分间具有复杂相互关系的建成植物群落中，种群组成最为多种多样（Работнов, 1950 a: 468—470），这是由于下列原因所引起：

1. 进入种群组成的个体的各个物候型群具有不同的生态学特性和生物学特性。试验指出，同一个种的不同物候型群对于施肥或割草具有不同的反应。

2. 由于种群内各个物候型群的年龄和生活状态不同，它们的地上和地下器官的发育强度也不同，与此相联系，它们对植物环境以及对群落其它成分的相互关系的影响的性质和强度也不同。

生长在这个或那个植物群落中的种群的数量和物候型组成，

与植物群落的收获量有直接的关系。

3. 依靠在同一个植物群落中种群物候型組成的多样性,植物种可以比較完全地利用环境条件。例如,在森林中,同一个乔木树种的幼苗、少齡植物、青年植物和成年植物处于不同的层中,而它們的根系伸入不同深度的土层中;因此,同一个乔木树种几乎利用了地表面这一地段內植物地圈全部厚度的生存条件。进入任何类型植物群落的灌木、半灌木和草本种的不同年龄的种群也是一样。

4. 依靠种群物候型組成的多样性和物候型类群改变自己状态(生殖个体过渡为营养个体,甚至过渡为休眠状态等等)的能力,植物种不仅可以生存在最适的条件下,而且也可以生存在比較不利的,无论如何年复一年地强烈改变的条件下,如上面所举之例。

5. 植物种群的多种多样的組成是建成天然群落的基本特征之一。这种情况促进了天然群落的稳定性。在这种情况下,由于許多植物的迅速地改变自己的物候型状态的能力,它們可以强烈地改变种的重量多度和投影多度,而不引起相应种群的数量的重大改变。

由上述可以看出,在这些或那些植物群落条件中研究从种子萌发到个体死亡的种的个体发育,以及作为整体的种群,对于认识植物群落具有非常大的意义(Лавренко, 1944),可惜,这些研究是很繁重的,只有在定位或半定位条件下才可能实现。在进行这些研究时必须认识植物种的不同物候型状态,并且能够鉴定它們的年龄,而这些工作首先要求事先进行形态-生物学研究。

在森林植物群落中,由于测树工作的关系,乔木树种的种群研究得較好,但仍然不够。灌木、半灌木以及特別是草本植物群落在这方面几乎没有进行研究。T.A.拉波特諾夫(1950 6)的专著是这方面較好的工作,这个著作討論了基斯洛沃德斯克(Кисловодск)以南地区大高加索中部亚阿尔卑斯型草甸中草本植物的种群。

十分明显,在这样布置植物群落中的种群研究时,也将会足够詳細地解决关于植物群落成分更新这样的重要問題。在一系列情况下,还需要研究这些或那些植物种的种子和营养繁殖体在所研

究的植物群落范围内的传播方式問題。

层片(синузия) 层片概念是加姆斯 (Gams, 1918) 引入科学中的。大家知道,这位学者在植物群落組成中区分出三种类型的层片: 第一級——同一个种的个体的总体; 第二級——不同种的个体的总体,但这些种属于同一个生活型类群; 第三級——属于不同生活型类群的不同种的个体的总体。B. B. 阿略兴 (Алехин, 1936) 把层片区分为五个級。

在現在苏联地植物学文献中按加姆斯第二級层片的意义理解层片。加姆斯和 B. B. 阿略兴的第一級层片不是别的,就是植物群落中的种群(按照貝科夫,是“地植物学”种群,1957)。加姆斯的第三級层片(和 B. B. 阿略兴的第五級层片)符合于“小群落” (микрофитоценоз) [按照雅罗森科,是“小群聚” (микрогруппировка), 1953] 的概念,或甚至符合于通常所理解的“植物群落” (фитоценоз) 的概念,因为植物群落几乎永远是由属于不同生活型的植物种(高等的和低等的)組成的。

美国学者們的“組合”(society)和 B. A. 凯勒尔 (Келлер, 1923) 的“共住群”(общежитие)接近于加姆斯的第二級层片的概念。

按照 B. H. 苏卡乔夫,我們把层片理解为植物群落的結構部分,它的特点是具有一定的种类組成,它所包含的种具有一定的生态-生物学一致性,并且,非常重要的是,它具有一定的小环境,这种小环境是相应植物群落的环境[生境(экотоп)]的一部分。

与层片概念最紧密地联系的是关于生活型和生活型分类的問題。

瑙基耶尔的著名的生活型分类被广泛地采用着,这一分类是根据低温或干旱所引起的休眠时期中芽的位置。按照这个分类,基本的生活型有一年生植物,隐芽植物(休眠芽处于水中的水生植物或休眠芽处于土壤中的地下芽植物),地面芽植物(休眠芽和越冬器官处于土壤表面),地上芽植物(休眠芽和越冬器官处于地面以上数厘米的高度),高位芽植物(休眠芽和越冬器官高于地面以上 10—15 厘米)。这一分类曾被布瑙-布朗喀 (Braun-Blanquet,

1951)在上述基本类型的范围内詳細地补充过。裘-里耶 (Du-Rietz, 1931) 关于生活型也做过已經有些过时的綜述。

象在文献中已經指出过的, 瑞基耶尔的生活型分类有片面性的缺点。

我们认为, 对于生活在土壤中的(細菌、真菌、某些藻类), 生活在水中的(許多低等和高等植物) 和生活在空气环境和土壤中的(大多数高等植物)或生活在其它基质上的(石头, 树皮, 叶子——由不同的系統类群所組成的石面植物和附生植物; 生活在高等植物地上器官上的寄生植物也属于这一类) 有机体應該分別地制訂生活型的分类¹⁾。对于每一个这样的“生命圈”(сфера жизни)應該为植物的基本系統(系統发生)类群——細菌、真菌、藻类、地衣、苔藓、蕨类植物和有花(裸子和被子)植物分別地划分出生活型²⁾。

在划分所有这些系統类群的代表的生活型时, 最好首先考慮营养的性质, 区分出异养植物、半自养植物(半寄生植物、半腐生植物, 例如象地衣) 和自养植物³⁾。考慮营养性质对于理解該植物种在植物群落中的环境形成作用是非常重要的, 这点 B. P. 威廉斯 (Вильямс, 1922 及他的其它著作) 已不止一次地指出过。

如果拿最复杂的有花植物类群做为例子, 那么生长在陆地上的有花植物自养代表之中首先應該区分出藤本植物类群 (具有攀緣或纏繞茎) 和具有直立或匍匐地上萌条(побег) 的基本类群。十分明显, 藤本植物不可能是植物群落的基本建設者, 同时象具有直立的和甚至半匍匐或匍匐萌条的植物 (例如, *Juniperus sabina*, *Pinus mughus*, *Agrostis prorepens*, *Aeluropus littoralis*, *Cynodon dactylon*) 可以在大面积上形成或多或少成片的植丛(заросль)。

藤本植物可以分为木本的(常綠的和夏綠的) 和草本的(多年

1) 我們所有以后关于植物生活型分类方面的建議, 带有介紹的性质, 发表以供討論。

2) B. A. 貝科夫 (1957) 已經指出过在植物的各个大的系統类群范围内划分生活型的必要性。

3) 在这种情况下, 所有的真菌列入异养植物类群, 而所有的地衣列入半自养植物类群。

生的,一年生的)等等。

具有直立或匍匐地上萌条的自养有花植物的基本类群應該按基本生长型式再分为若干类群:乔木、灌木、小灌木(低于1米)、半乔木(具有每年掉落的同化作用的枝条,例如梭梭)、半灌木(同样具有每年掉落的同化作用的枝条,例如 *Calligonum* 的种)、半小灌木(低于1米)和草本植物。十分明显,植物的重要群落学特性:生物学生产力、形成环境的能力等等在頗大程度上与这些基本生长型式相联系。

乔木、灌木和小灌木按它們同化器官(主要是叶子)生存期的长短可以分为常綠的和夏綠的(落叶的)类群,而草本植物可分为多年生草本和少年生(二年生和一年生)草本。

在按照生长型式的各基本类群(从乔木到多年生草本植物)之中,應該根据它們是否具有营养繁殖(增大)能力进一步划分为下列植物种类群:1)具有直立的地上萌条,但沒有营养繁殖能力的植物,2)具有匍匐的(蔓生的),但不生根的地上萌条的植物,3)具有匍匐的萌条,但后者生根的植物,4)根茎植物,5)草丛植物(具有非常短的,密辐射状分布的根茎),6)根蘖植物。

考慮植物的营养繁殖能力有很大的植物群落学意义,因为植物生长成不同大小的草丛、植丛等等与这种能力有联系。在植物群落的演替現象中,根茎植物或根蘖植物常常很容易占据地面,并且在許多年中把它保持住。具营养繁殖能力的植物也能够在有性繁殖或多或少受抑制的情况下繁生起来,并且占据新的地域。

在这种分类水平上的生活型类群还可以更进一步根据比較次要的特征(應該考慮,例如,許多小灌木、半小灌木和多年生草本植物的垫状生长型式等等)加以划分。

在最后一級,生活型可以根据对热量条件和水分条件的关系划分成生态类群,就象B. A.貝科夫(1957)所建議的那样。

E. 施密特(Schmid, 1957)所建議的把群落中植物生长型式的性质用图解法繪制出来是非常有意义的。E. 施密特在自己的植物种生物形态学图(биоморфологическая схема)中考虑和繪出了

下列特征：生命的持续时间、植物的大小、茎木质化的程度、分枝的性质(Achsensystem; 非常详细)、同化器官(叶子的生活持续时间和它们的大小)、根(初生根和不定根)、是否有积累贮藏营养物质的器官。这位学者引用了他研究过的植被类型的结构的示意图(以垂直剖面的形式)，在图上表示出进入相应群落的基本植物种的生物形态学特征。

现在谈一下“层片”、“层”和“种群”这几个概念的关系。

B. H. 苏卡乔夫(1957:13)正确地强调层片这一概念的植物群落学内容，他给层片下的定义如下：“我们把层片理解为植物群落的结构部分，它的特点是具有一定的种类组成，组成它们的植物种具有一定的生态学性质，并且在空间上(或在时间上)具有独特性，因而也具有该层片的植物所创造的特殊的植物群落环境(小环境)”。因此，植物群落中的层片占据着像动物学家所说的那种一定的‘生态小生境’(экологическая ниша)(Липпмаа, 1946; Работнов, 1950 а, 1950 б; Сукачев, 1957)。由层片的这个定义可以得出结论，属于这个或那个生物型(биоморф)(生活型)的植物，只有当它们的数量相当多，在群落中占据一定的空间(即使是在生长期间也好)的情况下，才能形成层片。

在这样的解释下，层片在一定程度上和植物群落中的“层”的概念相符合，这种“层”的概念来自通常的名称——层，如乔木层、灌木层等等。B. H. 苏卡乔夫(1957:37)同样认为，必须把“层性(ярусность)”看做只是层片的部分的，虽然是最重要的情况。”

将群落划分成层应该看做是对植物群落结构的某种一般的、粗放的理解。因此，必须区分出四个基本层：1) 乔木层，2) 灌木(或半灌木)层，3) 草本(或小灌木，或半小灌木)层，以及4) 地被(藓类-地衣)层¹⁾。层(乔木层，灌木层，草本层)常常划分为亚层。每一个层或亚层由地上和地下部分组成。这样解释下的“层”的概念与B. A. 贝科夫(1957)的“阶”(ступень)的概念相符合。

1) Л. Г. 拉缅斯基(Раменский, 1938:279)划分出的基本层与此相近。

层或亚层可以由一个层片或由几个层片組成 (Липпмаа, 1946)。例如,欧洲櫟树林中的草本层至少由两个层片——春季(类短命)草本植物层片和夏-秋草本植物层片組成,等等。

B. H. 苏卡乔夫完全正确地指出,森林枯枝落叶层中不同层[微层(микроризонт)]的低等植物,属于不同的层片;并且,甚至在森林枯枝落叶层的一个微层內可以有几个层片,例如細菌层片、真菌层片、藻类层片。

每一个层片的特征不仅是由属于同一个生活型或相近生活型的植物种組成,而且也具有自己的特殊环境——小环境 (микросреда)。因此,植物群落的层片結構反映出它的环境的分化或分层,植物群落的环境不論地下部分或地上(空气)部分都可划分出一系列的层(горизонт)。

植物群落中生活型組成的多种多样,以及与此相联系的植物群落层片結構的复杂性,保証了生物全面利用生境的生活資源,或多或少稳定的最高植物生产量(在該气候和土壤条件下),以及最大程度地影响环境,对环境进行生物性的改造。

还應該指出,在各个层片之間可能存在着过渡,因此各个层片并不是永远表現得十分明显。

在植物群落中,层片和种群的关系是怎样呢?

B. H. 苏卡乔夫在許多著作中不止一次地发表过这样的意見:在同一个群落中同一种自然更新的植物种(例如,这一或那一乔木树种)“不可能进入两个或更多的层,但可以分布在不同的叠(полог)中。因此,我們必須严格地区分暂时停留在这一或那一层中的树种和永久属于該层的树种”(Сукачев, 1957:39)。

T. A. 拉波特諾夫(Работнов, 1950a, 1950b) 以另外的方式解决这个問題,他认为,同一个群落中的种群可以进入几个层片的組成。根据同一个群落中同一个种的个体所属层片的数目,可以区分出单层片种群,二层片种群,等等。他认为,在草本群落中,最常見到的是三层片种群,因为同一个草本植物种的个体通常进入三个层片的組成中: 1) 土內层片(处于土壤中和尚未萌发的具生

活力的种子);2)占据近地面空气层和土壤上层的植物的层片(該种的幼苗和少齡植物);3)生长較高的植物的层片或层片組,这些植物的根系伸入土壤的比較深的层次(該种的成年植物)。

就象 T. A. 拉波特諾夫(1950a, 1950b)在高加索亚阿尔卑斯型草甸¹⁾ 的研究所指出的,早期个体发育阶段的种(少齡植物,青年植物)停留在較低层片組成中的期限可以很长,由于这个原因該种可以长时间参加这些“下层”层片植物的种間競爭,同时也参加它們的“小植物环境”的形成。

一个种的个体在它的个体发育过程中从該植物群落的一个层片过渡到另一个层片,这是各个层片之間缺少明显界限的原因之一(Работнов, 1950a, 1950b)。

因此,可以說,种群既以自己的不同物候型状态进入各个层片的組成,同时又是做为整体的植物群落的结构部分。

大家知道,某些研究者(Du-Rietz,1930;Липпмаа,1935)认为,植物群落学的基本单位不是植物群落,而是它的部分——层片(层)。例如,T. M. 李普馬阿(Липпмаа)曾經采用“单层群丛”,也就是层片型(тип синузии)做为植物群落分类的基本单位。然而在他的最后的,死后出版的著作(Липпмаа, 1946)中,他承认植物群落分类的基本单位是群丛(ассоциация)。他建議把群丛分为简单的和复杂的:前者由一个层片組成,后者由两个或若干个层片組成。这一点不能令人同意,因为在植物群落中存在由高等植物組成的一个层片的情况下,在土壤中永远存在一个,或更常是,若干个低等植物层片。因此,任何一个植物群落,甚至沒有杂草的这种或那种农作物的播种地,将永远包含几个层片。

个别的层片或层片組可以做为特殊的研究对象,特别是那些

1) 原文是“субальпийская луга”与“альпийская луга”相对,通常将前者譯为“亚高山草甸”,后者譯为“高山草甸”。但是这样譯容易与“高山”(высокогорье)相混。因为按照苏联大多数科学家的理解,“высокогорье”分为两部分,上部叫“альпийское”,下部叫“субальпийское”。在本书中,我們暫将“альпийская луга”譯为“阿尔卑斯型草甸”,“субальпийская луга”譯为“亚阿尔卑斯型草甸”。——譯者注

出現在不同群丛，甚至不同群系中的層片，例如象具光澤的森林真
蘚層片，它們不僅很好地表現在泰加云杉林中、松林中，而且也表
現在沒有樹木的許多凍原群落中。雖然層片只是植物群落的結構
要素，但是可以將它們劃分類型，也就是進行分類。T. M. 李普馬
阿(1946)正確地指出，層片的分類應該根據優勢生活型的統計，同
時必須注意層片的生境性質。

在組成植物群落(群丛也是一樣)的層片之中應該分出**基本層片**
(основная синузия)，或**建群層片**(эдификаторная синузия)，
和**從屬層片**(подчиненная синузия)。建群層片基本上決定了群落
的內部環境——植物環境；通常這些層片提供出群落的大部分植
物物質。在森林中——這是木本層片之一，在草原中——旱生草
丛禾草層片，在高位沼澤上——泥炭蘚層片，等等。從屬層片在植
物群落的生境中占據着這些或那些生態小生境，在創造這些小生
境時，建群層片起着決定性的作用。例如，在泰加林地區云杉林的
從屬層片中，很好地表現出光澤真蘚層片和北方小灌木及半小灌
木(*Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus* 等)層片。在荒漠草原
中，除了草丛禾草(*Stipa sareptana*, *Agropyrum desertorum*,
Festuca sulcata)建群層片之外，通常很好地表現出旱生半小灌木
(*Artemisia Lercheana*, *Kochia prostrata*)層片，以及某些其他的
層片，例如游動地衣(*Parmelia vagans*, *P. ryssolea*)層片。

並不是常常都能容易地把建群層片區分出來。例如，到現在
仍然不清楚，在外高加索南部和中亞的低山和中山上的旱生疏林
中，什麼樣的層片起着基本的作用(做為環境的主要改造者)；是散
生的低矮的喬木檜(*Juniperus* 的種)或黃連木(*Pistacia mutica*, *P.
vera*)組成的木本層片呢？或是在面積上占優勢的草原草丛禾草層
片？或者，在另一些情況下，根莖半類短命(гемиэфемероидный)禾
草*Agropyrum trichophorum* 層片？或者，有時候，由 *Astragalus*,
Onobrychis 等屬組成的旱生墊狀具刺(西黃蓍)小灌木層片，等等？

研究這些或那些層片在創造群落環境以及在積累植物物質等
等過程中的作用，乃是植物群落研究的非常重要的任務。

同生群(консорция) Л. Г. 拉緬斯基 (Раменский, 1952: 186, 187) 曾經指出, “除了层片和大家都知道的营养鏈之外, 应該在群落中也区分出异种有机体的結合(сочетание), 以它們命运的一定共同性在它們的生命活动中彼此紧密地联系着(相伴群或同生群)……不区分和研究同生群, 我們对生物群落的認識便不是充分的和完全的”。

可以举出乔木树种做为同生群的例子, 例如, 槐树和它所特有的由植物和动物組成的寄生物、附生植物(地衣、蘚类)、共生成分(菌根、根际微生物), 等等。

植物群落中的同生群在大多数情况下还没有被研究过。在生物群落的研究中, 几乎从来也不把研究即使是优势植物种的全部寄生真菌、来自动物界的危害者以及地上和地下器官的共生成分做为自己的任务。显而易見, 必須在植物群落中这些或那些植物种的个体发育过程中研究这种同生联系。

所有这些概念——种群、层片和同生群——都是非常重要的; 它們从不同的觀点說明了植物群落的结构。

小群落(микрофитоценоз) [按照拉緬斯基, 1938, 和雅罗森科, 1953, 是小群聚(микрогруппировка)] 也是广泛分布的镶嵌植物群落中的结构单位; 但这个结构单位比較复杂, 也可以說, 比上面提到的那些结构单位更为高級。

植物群落区系組成和层片結構在水平方向上的某种不一致性, 也就是它們的镶嵌性, 既依賴于自然环境, 主要是小地形的不一致性, 也依賴于生物群落的組成成分——植物和动物的生命活动。植物和动物的生命活动在影响生物群落(植物群落)内部的生存条件时, 可能导致在生物群落范围内形成具有自己小环境的小群落(Лавренко, 1952)。

現在举一个我亲自觀察到的例子。在或多或少輕质土壤上的蒙古¹⁾ 草原特有所謂“錦鸡儿”草原, 这种草原的組成在草丛禾草

1) 指蒙古人民共和国, 下同。——譯者注

和葱类植物(*Stipa decipiens*, *Cleistogenes squarrosa*, 而在荒漠草原中还有 *Stipa gobica*, *S. glareosa*, *Cleistogenes sinensis*, *Allium mongolicum*, *A. polyrrhizum*)占优势的基本草被中散生着具根茎的锦鸡儿(*Caragana microphylla*, *C. pygmaea*)堆丛(куртина)。

有一次,在荒漠草原亚地带,曾经看到下列镶嵌群丛: *Cleistogenes squarrosa* + *Stipa gobica* + *Allium mongolicum* || *Caragana pygmaea*—*Cleistogenes sinensis* (+ *Salsola ruthenica* + *Eragrostis minor*)¹⁾。这个群丛由两个小群丛(而属于该群丛的植物群落由两个小群落)组成:在其中只很好地表现出由草丛禾草(*Cleistogenes squarrosa* 和 *Stipa gobica*)和草丛葱类(*Allium mongolicum*)组成的一个层片的基本小群丛,和相隔若干米(通常超过5米)散布的矮生灌木(高度约50厘米) *Caragana pygmaea* 堆丛组成的次要小群丛。在基本小群丛的组成中有个别的十分受抑制的个体和其它的生物型(旱生半小灌木,夏秋一年生植物),它们不形成特殊的层片。直径从几十厘米到2.5米的 *Caragana pygmaea* 堆丛是由于它们用根茎营养繁殖的结果而形成;在它们附近积聚了高达15—20厘米的沙丘。在这些堆丛中,除了锦鸡儿组成的基本灌木层片以外,还表现出两个从属的层片——草丛禾草(由 *Cleistogenes sinensis* 组成)层片以及发育很好的夏-秋一年生植物(*Salsola ruthenica*, *Eragrostis minor*, *Echinopsilon divaricatum* 等)层片。一年生植物在基本小群丛中也有,但是只以少数受抑制的植株出现。

因此,也象在水平方向上均质的植物群落一样,小群落由层片组成;在这种情况下同一个植物群落的不同小群落可以由不同的层片组成。上面简短地谈到的两个小群丛不能看做是特殊的独立群丛,因为锦鸡儿的根远远地伸入葱类-针茅-隐子草小群丛所占据的堆丛间地段的土壤中,并且在那里与后者的组成成分发生相互作用(通过环境)。

1) 加号(+)用以区分同一个层的植物,减号(-)用以区分不同层的植物,两条纵立的平行线区分整个镶嵌群丛中的小群丛。

镶嵌植物群落以及相应的镶嵌植物群丛广泛地分布于自然界,既分布于荒漠、草原、草甸、沼泽、冻原等植被型中,也分布于森林植被类型中。

不同的,但相邻的小群落的成分之間,无论是地上部分,或特别是地下部分,經常相互作用着,这是組成镶嵌植物群落的小群落的特征。在这方面镶嵌植物群落不同于属于不同群丛(两个、三个或更多)的群落小复合体(микрокомплекс фитоценозов)。在微复合体中,各个植物群落的直径以几米或几十米来計算。在微复合体的情况下,不同植物群落或它們的片断(фрагмент)的植物之間的接触,仅在边界部分觀察到,而相邻植物群落的大部分成分彼此沒有关系,各自存在于不同的生境条件中。

П. Д. 雅罗森科(Ярошенко, 1953: 47)根据植被的镶嵌结构,強調指出,与其它群落結合在一起的植物群落,进入“还要更大的大群聚(макрогруппировка)的組成中,这种大群聚本身又是还要更大的大群聚的一部分,如此等等”。他引用做为整体的森林草原做为这种大群聚的例子。这里,在植物群落的結構部分(小群聚)和植物群落的組合(сочетание фитоценозов) (“大群聚”),或甚至植物群落結合的結合(“大大群聚”)之間表現出明显的混乱。

群落成分型(фитоценотип)¹⁾ 如果說,在任一植物群落的层片之中,我們能够区分出主要层片和占据着相应生物地理群落的这些或那些生态小生境的从属层片的話,那么在层片的組成中也同样能够区分出主要种和次要种;主要种与层片的其余成分比較起来,通常在該层片中具有最大的投影盖度,最多的植物物质,并且对环境表現出最强烈的影响。不仅可以談論关于各个层片的主要和次要种,而且也可以談論关于整个群落的主要种和次要种;在这种情况下,植物群落的主要种当然是基本(建群)层片的主要种。

植物群落种类組成的这种群落成分型的分析,很早就吸引了研究者們的注意。

1) “фитоценотип”以前譯为“植物群落型”或“群落成員型”,但前者譯容易被誤解为“植物群落类型”,后者有拟人意味,所以譯者建議譯为“群落成分型”。——譯者注

Г. Н. 維索茨基(Высоцкий, 1915)在草原的組成中区分出下列造群型, 或者, 如他所称的“社会阶级”——得势种 (превалид) 和混杂种(ингредиент)。“得势种——优势阶级——由多年生植物組成, 它們或多或少巩固地占据着自己的地段, 是土壤水分和营养物质的主要消耗者, 也是增长有机物质的最主要生产者”(Высоцкий, 1915:1366)。他进一步把得势种根据植物地下部分的特征划分为生物学类群。“为此, 应該区分出少年生植物部分, 它們組成混杂种从属阶级”(同上, 1373 頁), Г. Н. 維索茨基将混杂种进一步分为二年生植物和一年生植物。

И. К. 帕却斯基(Пачоский, 1917:344)在烏克兰南部草原的組成中曾經划分出大致同样的“社会类型”: “…多年生植物組成的成分, 形成草原植被的或多或少不改变的基础, 一年生植物(和二年生植物)…組成的混杂种, 它們的参加只是暫时的, 决定于該时期的条件”。И. К. 帕却斯基把草原中的草丛草原禾草叫做“基本成分”。

А. Я. 戈尔佳根(Гордягин, 1922:149, 150)曾經強調指出植物群落基本成分(优势种)的巨大群落学意义, 他称它們为“优势种”(доминант): “組成群落的植物种, 通常并不是平等的, 这从下列情况可以看出: 一个种, 或无论如何少数的种, 它們在群落中远比其余的种繁殖得多; 前一些种因此叫做优势种, 而后一些种——从属种 (подчиненный)。群落的外形或外貌首先依赖于优势种, 而它的种类組成在頗大程度上也依赖于优势种。种类組成多多少少与該群落的特殊气候, 它的小气候相联系…其次, 群落每年所生产的植物物质的数量和組成也依赖于优势种的性质, 动物物质的数量和組成也是一样, 因为在不同的植物群落中动物居住者是不一样的”。А. Я. 戈尔佳根把土壤中微生物之間的組成以及数量对比关系也与优势种对群落环境的影响联系起来。

和上面所引述的 А. Я. 戈尔佳根著作的同时, 出現了蒙彼利埃学派著名的法国植物学家——J. 布瑞-布朗喀和 J. 巴維阿尔德 (Braun-Blanquet, Pavillard, 1922) 的《植物社会学辞典》(Vocab-

ulaire de sociologie végétale), 在这本辞典中也在“动态发生的行为”(Comportement dynamogénétique) 标題下提出群落成分型的系統: 1) 建群种, 或建設种, 2) 保守种, 或保存种, 3) 团結种, 或加固种, 4) 中立种, 5) 破坏种。这一按其形式带有社会学性质的分类, 作者就不詳細地說明了。

稍后一些, B. H. 苏卡乔夫 (1928) 和 Г. И. 波布拉夫斯卡娅 (Поплавская, 1924) 根据对乌克兰南部阿斯卡尼亞-諾瓦 (Аскания-Нова) 自然保护区的著名草原植被的研究, 曾經制訂出組成植物群落的植物的成分型类型系統¹⁾。

I. 建群种(Эдификатор)——植物群落(群丛)的創造者, 建設者。

A. 固有建群种(Автохтонный)——沒有人类和动物的影响下, 在天生条件中該生境上群落的建設者为固有建群种, 在其它的生境上它們之中的某些可以列入下列类群。

B. 消退建群种 (Дегрессивный)——只有在有人类和动物的影响时, 植被发生改变的条件下, 該生境上的群落建設者才是消退建群种。沒有这种影响时, 它們只做为附属种进入群落的組成, 这些种在該生境上成为建群种只是暫时的, 在消除了人类或动物的影响的情况下它們让位于固有建群种。在另外的生境上, 而常常是在另外的气候条件下, 这些种可以成为固有建群种。

II. 附属种(Ассяктор)——虽然也参加該群落(群丛)的建設, 但对群落内部“植物社会”环境影响很小²⁾。

A. 固有附属种(Автохтонный)——进入天生植被組成的植物。

1. 喜建群附属种 (Эдификаторофил)——乐意地生长在建群种的稠密植丛之中, 并不由于建群种的影响而受害, 而有时甚至需要在这种影响下生长, 但在沒有建群种时, 常常也能够生存。

1) 以后这一造群型系統在B. H. 苏卡乔夫 (1928: 141—143) 的印本中被引用。

2) 換句話說, 它很少影响“植物环境”或群落环境的創造 (指的是环境条件的生物动态改造)。

2. 嫌建群附属种(Эдификаторофоб)——它們避开建群种的稠密植丛,占据建群种之間的比較开曠的地段,不能忍受建群种的影响。

Б. 外来附属种(Адвентивный)——在正常情况下不是該群丛所固有,由于被人类(狭义的“杂草”植物)、动物或其它媒介順便带来的原始体散布的結果,偶然地掉到群落中。

喜建群附属种和嫌建群附属种可以根据开花時間和高度进一步划分为若干类群。

Л. Г. 拉緬斯基(1938: 279, 280)提出植物成分型的有趣的分类。他区分出强力种、忍耐种和占空种, 他把“强烈地发育……侵占地面,并把它保持住,以生命活动的能力和充分利用环境資源压迫、抑制竞争者”的植物种归入强力种(виолент或 силовник)。大多数建群种属于强力种。忍耐种(патиент或 выносливц), “在生存竞争中…不是以生命活动和生长的能力取胜,而是以自己对經常的或暫时的,极端的,严酷的条件的忍耐性取胜…在极端的和对它們常常是比较不利的,并且有时是极其多种多样的条件下,忍耐种可以成为优势。該学者引用普通松(*Pinus sylvestris*.——譯者注)和芦葦(*Phragmites communis*)做为例子”。占空种(Эксплент或 выполняющийвид)“具有非常低的竞争能力,但是它們能够非常迅速地侵占沒有植物的地段,占滿較强植物之間的空隙;它們同样也容易被后者所排挤”。因此,占空种“在竞争微弱的,或多或少是先鋒的条件下”形成优势。一年生和二年生植物以及許多以营养器官移动的多年生植物(根茎植物, 根蘖植物)属于这类。

Б. А. 貝科夫(1949, 1957)也曾經制訂过成分型的分类,他以植物种的生物形态学特征做为划分最小的成分型的基础。М. В. 馬尔科夫(Марков, 1958)也制訂过成分型的分类,他是发展了А. Я. 戈尔佳根的思想,还有其它人的分类。

我們认为,首先必須确定关于植物群落(或植物群丛)中每一个层片的优势(提供最大的植物物质量和通常具有最大的盖度)种的概念,它不依賴于該层片在群落中的作用。这些种最好称之为优

势种[доминант或得势种(превалид)]。每一个层片的这种优势种的数目也可能多于一个；在这种情况下比較次要的(按照盖度、植物物质的产量等等)优势种可以称为亚优势种[субдоминант或亚得势种(субпревалид)]。其次，必須特別分出优势(按其形成环境的作用，按照总的植物物质，通常按照总盖度)或建群层片的优势种；这些优势种也應該称为建群种(эдификатор)，或植物群落(或群丛)的建設者；这些种也可以多于一个；它們之中比較次要的可以称为亚建群种(субэдификатор)¹⁾。

任何层片的或多或少次要的种，較恰当的名称，如Г. И. 波布拉夫斯卡娅和B. Н. 苏卡乔夫所建議的，是附属种(ассектатор)。

我們发表过(Лавренко, 1947)苏联主要地带性(平原上)群系的建群种名录；它們总共約160个。Б. А. 貝科夫(1949)曾經編制了苏联地带性(平原上)和垂直带性(山区)以及比較次要的群系的建群种名录，共登計了1176种。

关于优势种的問題，特別是关于建群种，也就是在生存斗争中第一級的胜利者的問題，值得給以很大的注意，并且实质上这是一般生物学的問題。摆在我們面前的任务是查明，为什么在生存斗争中只有比較有限数量的种成为地球植被的基本建設者²⁾。这要求大量的工作，对这些种进行全面的 比較生态-生物学分析，并且在分析时考虑到，植物群落，做为适应的系統，是不同植物有机体生存斗争(按达尔文所理解的)的結果。

- 1) Б. А. 貝科夫(1957)建議把从属层片(“阶”)的优势种 称为亚建群种，但这是不合适的，因为相应的层片在群落中常常并不起重要的作用，也就是說，不是群落的建設者。М. В. 馬尔科夫(1958)把次要(从属)层片的优势种称为不同級的共优势种(содоминант)，从他的观点來說，这是不合邏輯的，因为他是按照 А. Я. 戈尔佳根的意思理解优势种的，也就是相当于建群种；因此，按照他的观点，應該把建群层片的共同占优势的植物种称做共优势种。
- 2) 大家都知道，在潮湿(“多雨”)热带森林——希列亚(гилея)，在它的乔木层中，很难确定占优势的乔木树种，因为乔木树种是这样的多。显然，在这种情况下，只能談論建群层片，而不能談到建群种。

所有上述关于植物群落的結構，向我們說明，第一，必須以生态-生物学观点对待植物群落結構要素的研究，第二，必須在時間上，也就是在植物群落的动态中，研究它的結構，甚至不是在一个，而是在許多生长期間去研究。

植物群落的种群結構和层片結構的深入研究，要求对进入被研究植物群落組成的植物种的生物学和生态学的深刻知識。特别是为了分析种群，必須具有植物种从种子萌发到衰老阶段的个体发育过程全部阶段的知識；在这种情况下，为了追溯植物种在它的个体发育过程中从一个层片过渡到另一个层片，必須很好地知道它的地上和地下部分的形态学、生物学和生态学。

为了认识植物群落的层片結構，同样必須尽可能全面地知道植物种的生物学和生态学，特别是优势种，并且首先是建群种的生物学和生态学。在这种情况下极其重要的是植物种的种子和营养繁殖，以及全部形态学和生理学特征的知識，这些知識使我們有可能解释为什么一个植物种属于这一或那一层片，或同生群。十分明显，所有这些不仅涉及到組成被研究群落的高等植物，而且也涉及到其中的低等植物。

虽然，深入认识所有这些規律性，只有在定位工作中才有可能，但是在路綫調查的情况下，也不仅可以搜集关于这些或那些植物群落中种的組成和数量对比关系的有价值的資料，而且可以搜集关于它们的层片結構的有价值的資料。

植物群落生态学

一般概念 B. H. 苏卡乔夫在确定关于生物地理群落，或他較早称之为地理群落 (геоценоз) 的概念的时候，这样地給这一复杂整体的“无生命”部分下定义 (1942:7)：“……最好把地理群落的自然地理要素联合成生境 (экотоп) [Г. Н. 維索茨基院士所建議的术语，与动物学家，象 Д. Н. 卡什卡罗夫 (Кашкаров, 1938) 所理解的术语“生境” (биотоп) 意义相同] 概念。生境本身又由

土壤环境(эдафотоп)¹⁾(与組成地理群落的部分岩石圈和水圈一起的土壤圈的地段)和气候环境(климатоп)(組成地理群落的大气圈部分及其要素)²⁾組成”。因此,在“生境”(экотоп)概念中,包括着生物地理群落无生命(死的)部分的全部物质系統,这一系統具有它自己特有的一切过程,以及与生物地理群落的有生命部分的相互关系。

Л. Г. 拉緬斯基(Раменский, 1925)很早以前就已經建議过区分“生理上起作用的”物理和化学的“环境状况”和間接地影响植被的“地位环境条件”[或“地位环境”(энтопия)]³⁾。

他把生境中的下列物理和化学状况列为生理上起作用的环境状况:大气中的光、热、空气湿度、气体;土壤中的热、水分、土壤空气(土壤通气性),土壤溶液。正是在生理上起作用的生境状况条件下,才实现生物地理群落中活的和死的部分之間的物质和能量的交换。

地位环境条件,或地位环境,包括地形条件(топологические условия)(地形,成土母质的性质,土壤的机械組成,它的結構,潛

1) В. Н. 苏卡乔夫称为“эдатоп”。

2) 着重点是我加的——拉甫連柯。

3) Л. Г. 拉緬斯基在他比較后期的著作“土地的土壤-地植物学綜合研究概論”(1938:24)中建議区分开下列概念:“地境[местоположение,地位环境(энтопия)]”,“生境(местообитание,экотоп)”和“生活环境(жизненная среда)”。

Л. Г. 拉緬斯基(1938:24,25)給后两个概念下的定义如下:“生境——这是从它的生态学特性方面来考察的土地个体(разность земель),生活环境——具体变体(具体植物群落——拉甫連柯)和栽培状态下土地个体的生态学内容”。我们认为,遵照 В. Н. 苏卡乔夫,應該把生物地理群落中大气圈和土壤的全部质体称做生境(экотоп),这一质体具有它間接地(地位环境)或直接地(生态学的或生理上起作用的状况)影响組成生物地理群落的有机体的全部特性。把地位环境条件(地位环境)的总体称为“地境”是不恰当的,因为“任何一个地点的处所,地理位置”叫做地境(Д. Н. 乌沙科夫主編的“俄語詳解辞典”卷二,1938:193)。可以把“местообитание”和“экотоп”看做同义字,但是后者应按上述意义理解。“环境”(среда)通常也是按这种广义理解。“生活环境”目前在我国地植物学文献中通常被称为植物环境(фитосреда)或植物群落环境(фитоценотическая среда)。

水和地表水,等等),以及一般气候条件(降水,空气的流动,等等)。周围的其它生物地理群落也属于地位环境,所有这些因素都是間接地影响植物群落;它們制約着生理上起作用的环境状况¹⁾。

关于生理上起作用的环境状况的概念对于认识植物群落的生态学有非常大的意义。B. P. 威廉斯的关于四个基本生活因素——光、热、养料和水——的不可替代性的著名原理,也正好涉及了生理上起作用的环境的土壤、空气和水状况。

所有已知的一些因素被另一些所替代的例子,所涉及的不是生理上起作用的状况,而是地位环境因素(Ярошенко, 1953)。

地植物学家在自己的研究工作中,通常确定着植物群落(它們的組成、层片結構、季节或年际发育的特性)和地位环境或間接作用因素,例如地形、土壤类型、土壤的机械組成、碱化程度、土壤中是否存在这些或那些盐类的分泌物、以及大气降水的数量和季节性等等之間的联系。在季节和年际动态中,研究植物群落和生理上起作用的环境状况之間的比較隐蔽的关系則要少得多。后一情况的一部分原因是,就是土壤学家,也較少在季节动态中研究土壤状况——热状况、空气状况、土壤溶液的組成等等。至于小气候(植物气候)研究,則情况稍好。小气候的研究通常提供关于群落中大气的热状况、水状况(空气湿度)以及辐射状况的概念,这些状况对植物有直接的生理影响。因此,應該指出,土壤学家的生物学方向不仅應該在于考慮做为主要成土因素的活有机体,而且也應該在于把土壤做为植物生存环境来研究。

上述的一切完全不是否定研究植物群落与地位环境因素之間

1) 著名的生态学家 H. 瓦尔特(Walter, 1951:10)在分布地点("Standort")的大量"因素"中,从它們对于植物生活的意义出发,同样区分出下列主要因素: 1)热因素或温度关系; 2)水因素或水分关系; 3)对CO₂的同化和植物生长有意义的光; 4)不同的化学因素,它們是大气和土壤空气中所含有的CO₂和O₂,土壤的营养物质,土壤的反应以及对植物有害的物质; 5)不同的机械因素,它們引起植物个别部分的损失或甚至整个植物体的毁坏,例如象暴风、沙的磨蚀、雪的融蚀、雪堆和雪崩的压力、土滑作用、闪电和火烧的破坏、特别是放牧动物和人类机械作用的影响。此外还可以加上动物界所有吃植物的动物的影响。

的关系，特別是从地理观点去研究的科学意义。但是在深入的、定位的地植物学研究的情况下，永远必需力求确定植物群落的季节动态和生理上起作用的环境状况(在植物地圈的整个层中)的季节改变之間的因果联系。必須特別強調在季节和年际动态中的生理上起作用的状况的分层、按层研究的重要性，因为只有这样的研究才能解释，为什么在同一个植物群落中存在不同的生物型以及在它的結構中出現不同的层片。

植物环境 (Фитосреда) 在苏联地植物学文献中把占有整个植物地圈厚度的，植物群落的环境叫做植物环境。植物地圈的极其重要的特点是，在它的形成过程中植物群落本身起了巨大的作用；这是生物起源的环境，具有一系列的特性，这些特性从来也不表現在沒有生活有机体的大气圈、水圈和岩石圈的那些部分中。

讓我們簡短地談一談植物群落的“内部”环境，或植物环境的特有的特性(Сукачев, 1928; Высоцкий, 1929, 1950; Гейгер, 1931; Braun-Blanquet, 1951; Walter, 1951; Быков, 1957)。

在植物群落中，太阳辐射在很大程度上被改变着。不論在森林或草本植物群落的植冠下，射入的直射太阳光的数量要比在其它条件相同的情况下沒有植被的陆地表面少得多。群落中的植物吸收并且散射太阳光。散射光或者是被植物的叶子和茎所反射的，或者是透过叶子的；在这种情况下光的质(光譜組成)有了改变。

水生植物群落吸收和散射太阳光，也同样对进入水层的太阳辐射发生很大的影响。

植物群落中的热状况，比起群落以外来，溫度的波动要較为緩和。例如，在森林中，最高溫度比林外低，而最低溫度比林外高。通常起建群作用的植物群落中最郁閉的层，降低下层的溫度波动。

在植物群落中創造了特殊的空气湿度条件，这种湿度条件不同于在其它条件相同的情况下群落以外所具有的。下列情况可以解释这点：頗大部分的液体和固体降水被植冠所阻留，并且直接从叶和枝的表面蒸发掉。在这种情况下具有最大密度和存在或多

或少厚树冠的植物的那种层或亚层阻留特別多的降水。在植物枝叶上以液体水滴或雾凇形式凝結的水蒸汽也影响群落中空气的湿度。植物的蒸騰对群落中空气湿度有非常大的影响。由于所有这些影响的結果,年平均相对湿度,例如,在森林中就比在林外稍微高些。在生长期內,最高絕對湿度是在植物群落的最郁閉层或亚层中觀察到。

植物群落中大气的組成不同于群落外的近地面层大气。这是由于:第一,植物的光合作用和呼吸作用过程,第二,植物分泌出特殊的物质到地面的大气中,包括抑制素(колина)和植物杀菌素(фитонцид)(Grümmer, 1955)在內。由于这个原因,B. A. 貝科夫(1957)談到关于叶层圈(филлосфера),也就是圍繞着植物的叶簇并且为叶子分泌物所饱和的大气层;同样可以談論关于花层圈(антосфера),也就是圍繞着植物的花,并且为花的揮发性分泌物所饱和的大气层。正如前面所提到的,所有这些植物向周围大气所分泌的揮发性分泌物,对于它們与其它植物(低等的和高等的),以及与动物的相互关系产生很大的影响。

植物群落对土壤的影响还要更大。Г. Н. 維索茨基(1927 6:1)曾經写道:“沒有土壤便沒有生命,沒有生命也便沒有土壤”。这位学者,除了通常意义的,也就是陆地土壤以外,还分出过水的和空气的。上面我們已經談过按 Г. Н. 維索茨基所理解的空气土壤(воздушная почва)。

植物群落直接地和間接地影响土壤。

間接影响主要包括植物气候对土壤的影响,而植物气候,象上面所提到的,在很大程度上是植物群落所創造的。

正如 B. И. 維爾納茨基所曾經写过的,土壤乃是“生物-非生物”体(био-косный тел)。实际上,土壤中植物的全部活的和死的部分都是土壤的組成成分。植物的死亡器官供給土壤有机部分以材料,真菌和細菌則參加植物残体的分解。腐殖质积累在土壤的上层,但是在某些土壤內,由于淋溶过程的結果,一部分腐殖质轉移到土壤的下层(淀积层),积聚在那里。

植物群落对土壤水分状况有直接的影响，因为頗大一部分水分被植物所利用，然后蒸騰出去。

植物群落以有机化合物丰富土壤的“无生命”部分，这不仅是由于植物地上和地下部分死亡的結果，而且也由于根系的生命活动。植物的地下部分分泌出本身生命活动的这些或那些产物到土壤的气体部分和土壤溶液中。在直接邻近植物根的那些土体部分，这样的分泌物特別的多；在这里形成特殊的根际(ризосфера)，它具有特殊的微生物成分，形成特殊的层片。

因此，植物群落和整个生物群落对生理上起作用的环境状况的影响，不論在它的地上部分或在它的地下部分，都是极其巨大的。生物地理群落学研究的基本任务之一就是研究它的无生命部分的这种生物起源的变化。

生理上起作用的环境状况 (Физиологически действующий режимы среды)應該永远成为地植物学家在研究植物群落的生存条件时注意的中心。讓我們簡短地談一下这些状况，同时介紹讀者們去参考比較詳細地闡述这些問題的著作，例如 Г. Н. 維索茨基(1929, 1950)、Л. Г. 拉緬斯基(1938)、H. 瓦爾特 (Walter, 1951)等的著作。

光状况 它的一般特点决定于地方的緯度、海拔高度和一年中的時間。除此以外，地方的光照条件还制約于坡向和坡度，以及光从基质表面的反射，如果基质或多或少裸露的話。象上面已經提到过的，植物群落本身对光状况有非常大的影响。

因此，在研究森林以及部分灌木群落时，测定群落本身內的光状况和群落成分的耐蔭性程度，具有非常大的意义。

热状况 决定热状况一般特点的那些指标也和决定光状况的一样。位置条件，特別是地形条件和地表湿度条件以及植被本身对热状况同样有非常大的影响，因此在地植物学研究时必須經常考慮到。不論研究大气、或土壤的热状况时，應該特別注意生长期的长度和春、夏、秋三季的溫度进程，生长期的长度基本上是由溫度条件决定的。在这种情况下，不能只限于根据月平均溫度研究

溫度的年进程，也必須考慮按各个年份的月平均溫度的变化。不但如此，还必須考慮到零上的和零下的偶然溫度极限（特別强烈的严寒、春天或秋天的霜冻，以及冬季的强烈解冻或夏季特別酷热的白昼）。考慮热气候的极限变动并不比考慮相应平均值的变动重要性小。例如，在外高加索西部，热气候的平均条件以及湿度条件对于亚热带常綠植物是有利的，但森林中这种植物相当貧乏，这可以拿个别冬季偶然特別低的溫度来解释，在这种低溫的时候，許多引种到这里的亚热带作物（柑桔类、桉树等）都冻死了。因此，不仅考慮寒冷月份（冬季）和凉爽月份（春季和秋季）的平均最低很重要，而且考慮它們的絕對最低也很重要¹⁾。

植物气候的研究，不仅要在生长期間进行，而且也應該在秋季、冬季和早春进行，特別應該在不同生活型的越冬芽分布的地方进行。

大家都知道，瑙基耶尔的生活型系統主要是基于考慮与越冬和渡过夏季干旱有关系的植物形态学特征（在多年生植物是越冬芽对于地面的位置）。

湿度状况 也象溫度状况一样，植物地图中（也就是大气圈的相应部分中和土壤中）的湿度状况在植物群落的生活中具有同样巨大的意义。正是这两种状况的一般特点制約着植被在地球陆地表面配置的基本特点（也就是植物地理地区、地带、省），以及植物群落发育中的季节現象。与地形条件、成土母质和土壤相联系的溫度和湿度状况的地方变体，乃是在一定自然州或小区范围内属于不同群丛的各个植物群落現地分布的原因。

大陆湿度状况的最一般的特点，在大的植物地理空間单位——地区（область）、地带（зона）、省（провинция）——的境界内决定于水分平衡；而水分平衡由它的收入和支出两部分組成，收入部分是降落的大气降水和凝結水；支出部分是下垫面（土壤和内

1) 通常在編制气候图时采用不同种类的平均指标（例如，月平均溫度，月平均降水量等等）。但是在植物气候的定位研究的情况下，編制詳細的溫度和降水曲线图，并在其上标出相应的具体（某一期限的）标志有很大的意义。

陆水体)的蒸发和植物的蒸腾。地球上降水在一年中各季节的数量和分配依赖于大气环流的一般规律。同时地球上降水的总数量(即年平均降水总量)的分布具有以最广泛意义理解的地带性质,虽然,远不如类似的温度分布那样表现得明显。此外,这种降水的分布最密切地联系地方在大陆上的位置以及山嶺地形的性质。

然而,具体植物群落以及它们的类型学联合——群丛的湿度条件依赖于许多地方性的间接作用因素:地形条件、土壤、植被本身,等等,这些因素影响着地表和地下逕流、蒸发和蒸腾。

植物群落中大气的湿润状况基本上受下列因素的调节:即降水量¹⁾、土壤表面和植物茎叶表面的蒸发、以及由土壤进入植物体内的植物的水分蒸腾。蒸腾和蒸发本身又依赖于温度、空气的运动,等等。

土壤中的湿度条件非常复杂。它们依赖于许多因素:土壤水分的来源是大气降水,而在许多情况下是地表坡积水和冲积水,或接近于地表的潜水,或土壤中的凝结水;土壤水分的动态也制约于土内和地表蒸发,植物和微生物对水分的消耗;土壤内水分的运动与土壤的机械组成和颗粒组成(гранулометрический состав)相联系,这两种组成通常又随土壤的发生层次而改变。因此,土壤的水分特性,也象许多其它性质一样,表现出一定的分层现象。

由Г. Н. 維索茨基(1927 б, 1928)所制定的、并为现代的卓越土壤水分专家 A. A. 罗德(Роде, 1955)所采用的土壤水分状况类型,对于了解土壤湿度的生态学有很大的意义。Г. Н. 維索茨基区分出四种土壤水分状况类型: 1) 淋洗型(промывной, пермацидный тип),在这种淋洗型的情况下,整个土壤-土质层每年都被湿透直到潜水; 2) 非淋洗型(непромываемый, импермацидный тип),它的特点是沒有穿透土壤-土质的淋湿; 大气降水的水分淋湿土壤-土质层的厚度从几十厘米到几米; 在被大气降水淋湿的土壤和底土层的下部界限与通常埋藏很深的潜水毛管边缘(капилл-

1) 除了雨以外,雾和露在大气湿度状况的形成中也起着显著的作用。

ярная кайма)的上部界限之間,有一厚度从几十米到許多米、湿度极小、接近于凋萎湿度的层,——按照 Г. Н. 維索茨基的所謂“干旱死层”(мертвый горизонт иссушения);3)滲出型(выпотный, эксудационный тип),当有潜水从較高地方的下面流出,依靠潜水的毛管上升,也使土壤获得水分时,觀察到这种滲出型; 4)滯积水型(водозастойный, перстагнационный тип),見于广闊的內流或弱流(слабосточная)的、或多或少沼泽化的平原,在这种情况下接近于地表的潜水几乎沒有水平方向的流动。

大气中和土壤中的湿度状况在大多数情况下是很容易变动的,并且无论是在一年之内或許多年間,都或多或少在变动着。

Л. Г. 拉緬斯基(1938)区分出下列依生长期間湿度的变动性和保証性为轉移的生境基本类型: 1)湿度高度均衡的生境, 2)湿度相对均衡的生境, 3)湿度保証不定的生境, 4)湿度变动緩和和不强烈的生境, 5)湿度强烈变动的生境, 6)湿度极强烈变动的生境。

此外, Л. Г. 拉緬斯基 (1938:116) 建議把湿度的稳定性和不稳定性“理解为水分状况波动的振幅或水分状况的变动性,但已經不是按季,而是按年的变动”。这种波动可以达到很大的范围,特别是在大陆性区域,例如森林草原和草原。

氾濫(春季或早夏)水在河漫滩地造成了非常特殊的湿度状况。泛水性对植被的影响首先表現在縮短生长期,因为河漫滩上的植物主要是在泛水退后或强烈变浅(在低地)后才能发育。河漫滩中湿度的变动性也与泛水性相联系,因为水退后在河漫滩土壤中造成了很高的湿度,在河漫滩較高的地段上,有时也在低地中,这种高湿度到夏末就减低;在地形的高起处甚至可以出現土壤水分的枯竭。河漫滩中这种湿度的季节变动性在河漫滩的近河床部分,由于河流的排水作用,表現得最为强烈,而在离河較远的近阶地或近陆地的河漫滩部分就表現得比較不明显。

Л. Г. 拉緬斯基 (1938:122) 建議在河漫滩的生境中区分“三个等級的泛水性”: 1) 短期泛水的生境, 它不定期地被泛濫水淹没,并且淹没的时间不超过 10—15 天; 2)中期和长期泛水的生境,

定期地被泛濫水淹沒,時間約 15—40 天;3)特长期泛水的生境,淹沒达 1.5—2 个月,水退去很晚——在六月下半月或七月,这里通常沒有木本植被发育。

或多或少显著表現的湿度变动,以及这种变动在土壤和底土的不同层次的不同状况,引起 Л. Г. 拉緬斯基 (1938:118) 称之为“按照湿度的生态学結合性” (экологическая совмещённость по увлажнению) 的現象,也就是适应于在或多或少不同的湿度状况条件下发育的植物在同一个群落中的共处¹⁾。

这位学者把按照湿度的生态学結合性划分为下列类型。

1. 生态上不同的植物 (按照对于湿度状况而言) 的季节或季相結合性,在湿度或多或少显著变动的情况下,例如在河流的河漫滩中觀察到。这种季节結合性在苏联南方荒漠中非常明显地表現出来,那里春季在适宜的湿度条件中,大量地发育着中生的类短命植物和短命植物,而在干旱的夏季时期,則发育着荒漠旱生植物,例如 *Seriphidium* 亚属的蒿类。

2. 不同喜湿种的不同年份的結合性,这种結合性与各年間湿度状况的波动相联系,在草原洼地和积水洼地 (лиман) 中很好地表現出来,例子在前面有一章中已經列举过了。这一生态学結合性的类型也是苏联北方荒漠的特征,在那里,短命植物和类短命植物只在具有大量春季降水的年份才或多或少丰富地发育。^

3. 层的結合性,即在同一个群落中結合着利用上层滞水或甚至潜水的深根种类 [例如芨芨草 (*Lasiagrostis splendens*), 芦葦 (*Phragmites communis*)], 和只依靠从大气降水获得水分的具有比較表层根系的种类 (例如,常常与芨芨草或甚至与矮生芦葦生长在一起的草原草丛禾草——羊茅、針茅)。

4. 鑲嵌結合性²⁾, 在鑲嵌群落中觀察到, 在这种情况下, 例

1) 正如上面已經提到过的,几乎所有的植物群落的共同特征是植物的多种多样的生态-生物学类型的結合,这一現象与生理上起作用的环境状况的层化現象 (стратификация) 以及它們的季节和年际变异性相联系。

2) Л. Г. 拉緬斯基 (1938:118) 将这一类型的結合性称为“小或微复合体結合性”。

如，在小高地上(小草丘或小圆丘)生长着比邻近小低地的植物喜湿性较小的种类，等等。

在水体中，特別在或多或少較深的水体中，湿度状况通常是恒定的；在湿度状况强烈变异的情况下，在相应植物群落的組成中两棲种类便占优势。

通气状况 也就是土壤中，暫时或永久水体的水中，对于呼吸所必需的氧的飽和程度，它同样也是强烈地改变的。土壤中水分越多，或者土壤中或水体中的水流动性越小，这样的基质的通气性就越低。

在沼泽以及某些其它土壤的表面和內部存在停滞水的情况下，产生脱氧过程，导致形成土壤和底土的潜育层，这就使得在这种土壤里的根系的呼吸过程更加困难。

在河漫滩中，当有丰富和流动的泛滥水时，后者的通气性通常是很高的。在氾滥水退却之后，当永久河床之外的水流减慢或甚至完全停止时，特別在閉塞的低地范围内，水中氧的含量强烈减少，由于这个原因在被这种半流动或死水淹没的土壤內，也可能开始暂时的脱氧过程。

土壤中的营养物质状况 与土壤中这些物质的丰富程度相联系。通常区分出两种概念：关于土壤的有效肥力或明显肥力(активное 或 явное богатство) 的概念和关于潜在肥力或隐藏肥力(потенциальное 或 скрытое богатство)的概念。

土壤的有效或明显肥力乃是土壤总肥力中由植物土壤营养基本元素(N, P, S, K, Ca, Mg)組成的那一部分，这一部分由活动的能为植物利用的化合物形成。

潜在或隐藏土壤肥力被理解为土壤总肥力中在它目前状态下不能被植物利用，但借助于土壤改良或农业技术措施使土壤經過适当的改变时，可以被植物利用的那一部分。土壤的有效肥力和潜在肥力的总数組成植物所必需的营养物质的总肥力。

不同土类和土种的有效肥力差別很大，这对相应植物群落的組成和結構有很大的影响。

为了查明土壤的有效肥力以及在其中可以被植物利用的各种营养物质的比率,当然,必须进行从土壤的全部根分布层所采取的土样的相应分析。在这种情况下必须注意到,土壤不同层次中的营养物质不论在一年中的各个季节或不同年份之间经受着一定的变化。

土壤中被植物所吸收的物质的动态依赖于一系列因素:温度、湿度、植物对这些物质的需要,植物残体的分解过程(在其中微生物过程起着基本的作用),等等。

存在一系列的土壤外部特征,这些外部特征可以提供关于土壤有效肥力和潜在肥力的某些一般概念:土壤中有机残体的性质(低位泥炭的存在说明潜在肥力,而柔软腐殖质——说明土壤的有效肥力),机械组成(砂质土——永远是贫瘠的,壤质土——通常是肥沃的),等等。许多植物群落和个别的植物是土壤有效肥力和潜在肥力的很好的指示体(индикатор)。例如,松林通常指示贫瘠的土壤(在砂土上、花岗岩上等等),相反,橡树林指示肥沃的土壤。存在特殊的喜氮群落,等等。

某些微量元素(B, Mn, Cu 等)对植物的生活也有重要的意义,它们以容易被植物利用的形式存在于土壤中,通常为量极少。

土壤中易溶性盐类的状况 与土壤盐渍性现象相联系,也就是与这些或那些土层中所含有的易溶盐类——碱金属和碱土金属的氯化物和硫酸盐相联系。盐渍性对植物有两方面的,并且一般说来是有害的影响:1)减低根对水分的吸收,这与或多或少被易溶盐类饱和的土壤溶液的渗透压提高相联系;2)对植物有毒害作用;这种毒害的程度依赖于土壤溶液中易溶盐类离子的组成和对比关系。

盐渍土壤主要分布于半干旱和干旱地区,以及海和盐湖的沿岸。

易溶盐类具有很大的移动性。春天,由于湿度大和蒸发小,或多或少盐渍化土壤中的盐溶液便变稀薄,而在夏天,由于土壤湿度

的減低和土壤蒸發的加強，相反地，鹽溶液就變得較濃縮。春天在存在下降水流的情況下鹽漬化土壤甚至可能從表層發生脫鹽作用，而夏天和秋天，鹽分通常沿毛細管上升到土表。植被也影響土壤中易溶鹽類濃度的增加，因為植物消耗水分子於蒸騰作用上。大家知道，相應指示體——鹽生植物和特殊的鹽生群落的存在與鹽漬化土壤相聯繫。

由於篇幅所限，不能容許我們談到不同因素對植物群落的機械影響；這樣的因素是非常多種多樣的：暴風、雪和砂的磨蝕，雪和雪崩的壓力、土壤（特別是石質土）對植物根生長的阻力，植物被吃植物的動物的啃食、人類勞動工具的影響，等等。

地位環境條件 它間接地影響著植被，也就是在這種或那種程度上創造上面簡述過的生理上起作用的環境狀況〔生境（экотоп）〕。地位環境條件是非常多種多樣的。老實說，地位環境條件也就是通常所說的植被生存的“自然地理條件”，即：大氣環流、地方的地質構造、地形、地方的水文、風化殼、土壤和底土的顆粒組成、機械組成和礦物組成，等等。對土壤有影響的動物活動以及人類的經濟活動應該列入一般地位環境條件的組成之中。

在植被的路線調查時，地植物學家通常也確定植物群落（更確切地說，它們的類型——群叢）和上面所列舉的地位環境條件或一般地理條件之間的聯繫。只有在半定位，特別是定位研究時，地植物學家才可能自己、或更常是同其他專家（氣候學家、土壤學家、動物學家以及植物生態學家）一起協作，研究生理上起作用的環境狀況以及在植物群落成分中進行的相應的生活過程，在選擇這些成分時，應以它們在植被中所起的作用為標準。

地植物學家在研究這一或那一地域的植被時，應該熟悉他所感興趣的區域的一般氣候條件。這些條件是大氣環流和下墊面對它的影響的結果，表現為降水、溫度、風力和風向、蒸發等等的數量指標。

任何單個的氣候指標不可能充分地說明為了地植物學目的的“一般氣候”的特徵。就象上面曾經提及過的，必須獲得關於基本

气象要素(即使是月平均降水量和月平均溫度也好)的季节动态,以及关于寒冷(冬季)各月期间平均最低溫度和关于絕對最低溫度的概念。如果地植物学家获得关于連續若干年(10—30)的降水和溫度的月进程,以及关于这些年期间的絕對年最低(абсолютный годовой минимум)和关于春秋各月的絕對月最低(абсолютный месячный минимум),那就更好。

为了清楚和便于比較,所有这些气候指标最好做成气候图解(климадиграмма)的形式,在图上划分出湿润的、半干旱的和干旱的时期(Walter, 1955)。

地方的地质构造以及它的地质历史的知识对于地植物学家在各方面都很重要。首先,它提供关于被研究区域植被的可能的或实际的(如果拥有当地的古植物学証据的話)历史概念的一般輪廓。第二,地形的发生通常联系着地方的地质构造。第三,岩石的地层和地形一起,决定着地下(潜)水存在于这些或那些高度上。第四,地方的地质构造决定着成土母质的組成。

在地植物研究时非常重要的考虑被研究地域的地形。这些或那些地质岩层在地表的露头,以及上层滯水和潜水的存在和在地表的渗出与地形的这些或那些形态相联系。地形对地表水的重新分配、对小气候也都有巨大的影响。由于这个原因,不論土被和植被最紧密地(虽然也是間接地)与地形的不同形态——大、中、小和微地形——相联系。

地貌学从事地形发生的研究。地貌学和第四紀地质学的資料对于地植物学家是特別有意义的,因为它使我們有可能,即使是部分地,追溯出地质历史上最近时段的該地方的自然地理条件。

研究現代的地质过程对于地植物学家也很重要。現代地质过程导致地形的改造和形成現代地质沉积物:水蝕的、风蝕(风成)的、坡积和冲积物的現代堆积,等等。

不仅在森林中和灌木中,而且在草甸、草原以及甚至荒漠中,或多或少郁閉的(即使在土壤中)植被很好地抵抗着水的冲刷作

用。但是，植被的粘結性*遭到破坏时，特別是它的地下部分受到破坏时，就开始侵蝕过程。只有在山区，在山坡很陡的条件下，以及在稀有的傾盆大雨时，在具有最稀疏植被或完全沒有植被的荒漠中，侵蝕过程才带有原生的性质。绝大部分的現代侵蝕过程具有次生的性质，并且与人类的經濟活动相联系。

原生的风积过程对植被的生活起了显著的作用，这主要也是表現在荒漠区。在这里，在或多或少稀疏的植被条件下，促使粉质土壤从地表分散的各种因素，如有蹄类畜群（例如，高鼻羚羊、瞪羊¹⁾），掘土啮齿动物，某些土壤过程（例如，在土壤表层形成結晶盐类，等等），都促进粉粒的被风吹蝕，一部分的粉粒堆积在吹蝕地附近的半灌木〔例如，落叶松叶猪毛菜（*Salsola laricifolia*）〕株丛下，一部分可以被带至很远的距离。在最不相同的自然区域，从北极直到荒漠地区（地带），沿河岸的年青沙质冲积物和沿海岸的年青沙质沉积物也都可能經受原生的风的改造作用。在这样的沙地上通常觀察到从先鋒阶段开始的各种不同的沙地植物丛生阶段。

在苏联，大部分現代风力过程，包括在沙地，甚至在荒漠地区（在卡拉庫姆和基茲尔庫姆）的在內，都带有次生的性质，并且与砂质土地利用的不合理形式，主要与砂质土和粉质土的过渡放牧牲畜或开垦相联系。

在河流的河漫滩上，冲积物的沉积过程在植物的生活中起很大的作用，而在山坡，特別在亚干旱（субаридный）和干旱条件下，——坡积沉积过程起很大的作用。可惜到目前为止，在不同坡积沉积物的形成和植被之間的相互关系仍然研究得很不够。河漫滩中淤泥层对植被的影响則研究得較好。

考虑与其它因素一起形成生理上起作用的湿度状况的一般水文条件，对于地植物学家也同样是必要的。在这种情况下，必須

* 原文是 СВЯЗНОСТЬ，意指土壤被植被所固着，因而不致被冲刷掉的現象。——譯者注

1) 1957年干旱的春季（四月底）我們有机会在別特巴克-达拉北方荒漠（哈薩克共和国）看到甚至数量不多的高鼻羚羊畜群，当它們很快地在相当稠密的落叶松叶猪毛菜群落（*Salsola laricifoliae*）中間走过时，踏起了一片尘雾。

注意地表逕流和地下水(上层滯水、潛水)，以及它們的各季和各年动态。

上面簡短地叙述过的，生理上起作用的一系列状况与风化壳，特别是与它的上层生物起源的部分——土壤相联系。然而，在大多数情况下做为土壤母质的风化壳的某些特性，以及土壤本身特性，对于植物沒有直接的生理影响，但在創造生理上起作用的状况中起着这种或那种作用。矿物組成、机械組成和顆粒組成、壘結和結構、这种或那种盐类分泌物的存在等等属于这一类。

吃植物的动物对于植物的影响带有直接的(生理的)性质，但是动物对土壤的影响，当然，必須列入地位环境因素的一組。大群的动物对土壤发生影响；这首先涉及到掘土动物——啮齿类、某些食肉的哺乳动物、大量的昆虫、蠕虫动物。所有这些动物疏松土壤，促进结构的形成，以自己的排泄物向土壤施肥，因而提高土壤的肥沃性，等等。應該提到，某些草原掘土啮齿动物，成群地生活和大量地繁殖(例如，田鼠)，在它們数量最大增高的年份，会在巨大的面积(有时在几百公里的距离)上毀坏草原植被，并以自己的无数洞穴而使土壤表面疏松；因此产生动物成因的熟荒地，这种熟荒地以后經受着象人类起源的熟荒地和撩荒地那样的演替。

人类的經濟活动在目前不仅是根本改变植物地圈，而且也是根本改变整个生物圈的最强大的因素之一。作为有机体的人类对自然界的影响是极其有限的，但他借助于劳动工具对生物圈的間接影响則是巨大的。

森林中和草原上的火灾很早以来就是由人类所引起的；在目前，而在許多区域几千年以来，食草家畜在植被生活中所起的作用，比起野生食草哺乳动物，要大得不可比拟。但是植物地圈中特別大的改变是人类借助于他所創造的劳动工具而实现的。这些工具之中的某些并不摧毁整个自然植被，但对植被发生机械的影响，以致在許多情况下非常强烈地影响植物，并引起植物群落的改造；这主要是各种割草工具，以及放牧場和割草場的田間管理机器(松土机类型)，等等。在广闊的地域上，人类借助于使用各种耕作土

壤的工具,将自然植被完全破坏,并代之以人工——栽培植被。人类借助于一系列的机器以及施肥,影响植被的生存条件,力求归根結柢改变生理上起作用的环境状况,使它向有利于自然或半自然植物群落中对人类有用的那个成分的方面发展。

把生境因素划分为直接作用的和間接作用的,在一定程度上是有条件的。許多直接作用因素,例如热,对植被不仅发生直接的影响,而且也发生很大的間接影响,影响在大气中和土壤內发生的許多过程。但是这样的划分在方法論方面是重要的,因为它促使研究者力求找出植物群落中植物生活的生态学“始因”(первопричина),以及在全部联系中和“間接表現”(опосредствование)中认识植物群落学現象。

植物群落的指示特性 (индикаторное свойство растительных сообществ) 可以广泛地被用于近似地确定生境条件;不論生理上起作用的状况,或是地位环境条件。

許多自然地理学家和气候学家利用植被的特征來說明、确定地球陆地的基本自然地理地区或气候区(地带),并为它們命名。植被的基本类型(冻原、泰加林、草原、热带稀树草原、希列亚,等等)被解說成大气候基本类型的指示体。

然而植物群丛或具体的植物群落也可以利用来或多或少全面地說明各个地境的生境条件的特征。根据这些或那些植物群落的組成、种間数量对比关系、层片結構、发育的季节性可以十分准确地确定生理上起作用的状况:光照条件和近地面层大气的湿度条件、湿度条件、土壤的通气性、有效肥力、盐漬性,等等;同时在許多情况下可以有根据地判断这些状况中的某些,例如土壤湿度和盐漬性等等的季节性。同样的植物群落学指标也可以用来确定地位环境条件的整个复合体:土壤的机械組成、它的灰化、潜育化、泥炭化、碱化、碳酸盐化的程度、成土母质的岩性、基质移动性的程度(在砂、岩屑錐上)、表层湿度的性质、上层滯水或潛水接近土壤表面的程度、上层滯水或潛水的淡性或盐漬性,等等。

因此應該指出,在或多或少还保存着自然(通常在这种或那种

程度上被人类經濟活动改变过)植被的那些区域,植被广泛地被用作土壤或甚至地质条件的指示体。在这种区域进行航空测量时,正是植被把地形条件(特别是中和小地形)、地方的地质构造以及土被标记在照片上。

不論苏联或外国的地植物学家很早就已对植物群落的指示特性感觉兴趣。在苏联,对于把植被做为生理上起作用的状况的标志来研究,Л. Г. 拉緬斯基(1938; Раменский, Цаценкин等人, 1956)曾經做了許多工作。在目前,把植被作为地质和水文地质条件的标志来研究在我国获得广泛的发展(Викторов, 1955; 地质研究时的地植物学方法, 1955)。外国地植物学家在植物群落的指示特性的研究工作上同样也做出許多供献(Clements, 1928; Ellenberg, 1952; 以及其他許多人)。

Л. Г. 拉緬斯基(1938)根据植物群落的研究,曾經制定了植物对于湿度、对于河漫滩中泛水淹没(泛水忍耐性梯級表)、对于土壤的有效肥力和盐漬性等等的关系的詳細生态学梯級表(экологическая шкала),这位学者力求詳細地划分相应的生态学級(экологическая ступень);例如,如果說泛水忍耐性等級只有5級的話,那么,植物对土壤有效肥力和盐漬性的关系的等級就有30个級,而在草原带和森林草原条件下植物对湿度关系的等級就有90級,这90級联合成8个湿度綱(класс)。在这种情况下 Л. Г. 拉緬斯基在这样的“級”中給每一个植物种指出对該生态因素关系的幅度(从一到);在最后两个梯級表(指对土壤有效肥力和盐漬性关系的两个梯級表——譯者)中他分別地为每一植物种的五个“多度”(更确切地說是投影盖度)等級之中的每一个指出这种幅度,从最大(“形成背景”)多度开始到稀散的、个别的植株为止。

在与 И. А. 索村金(Цаценкин)等人共同发表的 Л. Г. 拉緬斯基的較晚著作(1956)中制定了最詳細的生态学梯級表。在这一著作中以表的形式附录了广泛的植物名录,并按照所采用的梯級表列举出它們的生态学适应性的資料:1)湿度(为所有种),2)土壤的肥力和盐漬性(为大部分的种),3)放牧的退化(以下都是为部分

的种), 4) 湿度的变动性以及 5) 冲积性; 同时, 考虑到按五級制的“多度”, 对于每一个种列举了相应的生态学指标。湿度梯級表采用 120 級¹⁾, 土壤肥力和盐漬性梯級表保持同样的級數, 而在較早的著作中是 30 級, 放牧退化梯級表采用 10 級, 湿度变动性梯級表——20 級, 冲积性梯級表——10 級。應該指出这些表中的两个基本缺点: 1) 大多数梯級表的过度細碎, 特別是土壤肥力和盐漬性以及湿度的梯級表 (后者由 120 級組成); 2) 种的生态学鑑定的地理普遍性, 这种普遍性指的是在苏联范围内相应种的全部分布区。A. A. 尼村科(Ниценко, 1957)根据他亲自在苏联欧洲部分西北部的觀察, 已經指出过 Л. Г. 拉緬斯基, И. А. 察村金等人的上述著作中某些种生态学鑑定的錯誤。

不論在苏联或在外国, 关于森林中草本植物(小灌木-草本)层和蘚类-地衣层的指示特性森林学家曾經做过許多研究。Д. В. 伏罗布約夫(Воробьев, 1953)曾經发表过苏联欧洲部分森林中森林植物条件的指示植物的汇著。

必須注意到, 編制生态学梯級表的工作由于許多情况而变得复杂化, 其中最主要的是: 1) 植物在生境方面的分布不是依賴于一个, 而是依賴于一系列同时影响植物的生态因素(生理上起作用的状况); 2) 大多数这些因素不是在一年期間或甚至在一个生长期間保持不变, 而是以清楚表現的季节和年际动态为特征, 并且这种动态常常非常明显; 3) 植物种在它的分布区的范围内 表現出变异性, 也包括对生态因素的关系在内; 通常种的分布区越大, 这种变异性也越大; 4) 植物种原始体状况和植物群落的組成状况, 换句話說, 也就是植物群落中种間相互关系, 也同样影响种在生境中的分布; 在許多情况下, 在这些或那些植物群落中該物种不出現, 并不是因为生态条件对它不适合, 而是因为, 相应的生态小生境已經被具有相近生态学的其它种所占据, 或者是, 群落中存在的这个或那个种对該种有有害的影响。

1) 这里明显地表現出对虛构的指示“准确性”的迷恋。

T. A. 拉波特諾夫(1958)已經分析了編制生态学梯級表的方法的許多問題。在这方面，基本的方法要求如下：

1) 为編制生态学梯級表用的基本植物群落学材料——样地的記載，必須按統一的方法搜集；特別是涉及到植物种数量对比关系的統計方法；

2) 样地的生态条件(湿度、土壤有效肥力和盐漬性等等)不應該用眼睛来确定，而應該尽可能用使我們能够确定相应条件的数量指标的精确方法进行研究；

3) 在生态学梯級表中不應該有許多生态因素級別(級)；

4) 生态学梯級表應該为各个自然区域制定，而不應該为广大地域制定；在后一情况下生态学指标将会模糊和不确定。

植物群落-生境系統中物质和能量的交换 在最近吸引着地植物学家們的注意。

例如，B. H. 苏卡乔夫(1957:16)认为，植物群落的特有性质不仅是“組成群落的植物之間的一定的相互作用，以及由此产生的做为整体的植物群落与环境之間的相互作用的特殊性质”，而且是“物质和能量轉化的特殊性质，这种轉化归結为物质和能量积累的特殊机制，以及它們的部分释放”。他把“这个物质和能量的积累、轉化以及不論植物群落內部或植物群落以外（也就是与其它的植物群落）高等和低等植物之間物质和能量的交换的极其复杂的和多形式的过程”叫做植物群落学过程 (фитоценотический процесс)。同时 B. H. 苏卡乔夫 (1957:23) 认为，必須“不仅把物质和能量的积累和轉化过程做为植物群落学过程考虑，而且也把它做为全部生物地理群落成分所實現的，并且包括物质和能量的积累的过程，以及与其它生物地理群落的物质和能量的轉化和交换的全部过程考虑”。这个过程，B. H. 苏卡乔夫称为生物地理群落学过程(биогеоценотический процесс)。

生物地理群落学过程的某些重要的方面我們正在研究着。特別关于土壤中的水分和植物以及整个植物群落——森林的(Л. А. Иванов, А. А. Молчанов 等人的工作)，荒漠的(И. Н. Бейде-

ман, И. М. Васильев, С. И. Кокина, В. М. Свешникова 等人的工作) 等等的水分經濟之間的平衡关系的研究已經做了許多工作。关于在不同植物地理地帶和垂直帶中光合作用的生态学也在进行着研究 (О. В. Заленский 及其助手們的工作), 等等。类似的工作也在国外进行着。

关于这方面, W. D. 比灵斯 (Billings, 1957) 在他的关于植物生态生理学工作的概述中, 发表了一系列有趣的思想。他写道, 自然界中的有机体是生态系(экосистем)的一部分, 关于生态系的概念是 A. G. 坦斯黎 (Tansley) 引入到科学中的; 这一概念实质上与 B. H. 苏卡乔夫所提出的“生物地理群落”概念相符合。比灵斯写道, 应該嘗試闡明, 是什么迫使这一整个系統工作着。“生态系的生理学”應該研究这个問題。生物群落和整个生态系的基础乃是它們的一部分成分(綠色植物) 借助于光合作用, 把太阳能引进到这个系統中来。这种能經過群落的营养鏈, 在每一个营养級上呼吸时失去一部分。如果想要了解系統的总“經濟”, 就必須知道, 生物质(биомасс) 的产量和在每一个营养級上通过呼吸所失去的等于多少。对于生态系的基本成分——綠色植物, 也就是对于植物群落, ——这在于测量自然群落中的光合作用和呼吸作用, 并考虑到光、溫度、营养物质的供应以及其它环境因素的影响。因此, 比灵斯强调必須以生理学观点对待自然生态系生产率的研究。

简单談談关于研究植物群落-生境系統中物质和能量交換 的必須前提。

第一个这样的条件乃是充分精确地(测定数量指标)认识生理上起作用的状况, 首先是光、热、水和营养物质状况。同时必須注意被研究植物群落的生境的整个分层剖面, 从接近最高植物植冠的大气层起, 到植物的个别小根还能达到的最深土壤-土质层止。除此以外, 不應該偶然式地, 而應該在季节的, 甚至年际的动态中去研究生理上起作用的状况。

第二个这样的条件是比较全面地研生理机能, 即光合作用、呼吸作用、水的吸收作用和蒸騰作用、矿质营养, 如果不能研究所

有的植物种，那么即使研究該植物群落的全部或多或少表現的层片中的优势植物种也好，并且也要在这些过程的季节和年际动态中研究它們。

非常重要的是研究建群种的基本生理过程。对生长在同一个植物群落中，但属于不同的生活型，也就是說属于不同的层片，因而在群落中占据着不同生态小生境的植物种，进行比較生理学的分析，也有很大的意义。考虑到植物群落中物质和能量的积累和轉化过程，对植物群落成分的生理过程进行平衡的研究，无论对于植物群落学目的或对于生物地理群落学目的，尤其有特別大的意义。

十分明显，只有抱着一定的目的——研究植物群落-生境系統生境中物质和能量的积累和轉化的协同工作的专家集体，才有可能全部完成这一广泛的大綱。

生长地(生境)条件的类型学 对于地植物学目的有很大的意义。

在划分生长地条件类型时，植物群落，也意味着与之相联系的植物环境，并不被注意到。然而以緩慢速度在植被(更确切地說是生物群落)影响下产生的，可逆或不可逆的生境的重大改变，在估計生长地条件类型时就被考慮。

生境类型学應該仅可能根据对生理上起作用的环境状况的估計。但是由于后者研究得比較差，通常在这种情况下不得不依靠对地位环境因素的估計，力求生态地解释它們。

Л. Г. 拉緬斯基引入科学中的“土地类型”(тип земель)概念非常接近于“生长地条件类型”概念。“不論是土地类型或土地个体(小类型)都是地域的景观单位(перспективная единица)，反映地域的与气候、地形、岩石、一般土壤类型和一般水文条件(潜水、瀦集、水、泛滥水)相联系的比較稳定的生态学特性”(Раменский, 1938:20,21)。按照这位学者的說法，土地类型的价值在于，它使我們有可能概括地确定“耕地-割草場-牧場-森林能力”(пахото-сено-ко-са-пастбище-лесо-способность) 以及对于栽种一定作物的适宜性，也就是說提供判断这一或那一地域的远景的可能。“每

一个类型應該研究它的全部改造体和变型，这种改造体和变型是制約于自然因素以及特別是栽培因素的。一个土地类型的基本特征是它們的暫时性质，它們彼此轉变以及恢复到接近于初始状态[根本变型(коренная модификация)]的能力(Раменский, 1938:21)。

例如，北哈薩克斯坦中壤质弱碱化暗栗鈣土上的干旱羊茅-針茅草原亚地帶中的平坦的分水界地段，應該属于一种土地类型。然而在这些地段上我們可以遇見最为多种多样的植被：1) 处于生荒地状态——羊茅-針茅草原(根本变型)，羊茅草原，这种羊茅草原是由于强烈放牧的結果(牧場变型，或 паскваль 变型)；2) 处于熟荒地-撩荒地状况(停止耕种后)——一年生和多年生杂草植丛(年輕的熟荒地变型)，碱草植丛——*Aneurolepidium ramosum* (撩荒地变型)；3) 处于栽培状态——谷类、飼料作物等等的播种地(栽培变型)。每一个这些变型具有自己的特殊植物气候，但是每一个这些变型的生境的基本的，或多或少稳定的特征改变很少。在长期和强烈的人类影响的情况下，这些或那些生长地条件类型可能变成另外的栽培类型；生长地条件类型的变化过程也可以在自然界，在不同因素的影响下，包括在植被的影响下而发生。

关于森林土地类型学問題，E. B. 阿列克謝也夫-П. С. 波格列布涅克学派的乌克兰林学家在这方面做了許多研究(Погребняк, 1929)。Д. В. 伏罗布約夫(1953)曾經发表过在“森林地段”的生态类型学基础上确定的，关于苏联欧洲部分森林类型的汇編。这些森林地植物学家根据对土壤肥力(泥炭含量)和湿度的考慮建立自己的森林地段(森林土地)的类型学。他們主要是根据間接指标确定土壤的这些生态学性质，这些間接指标如下：土壤肥力組——根据土壤的机械組成，而湿度組——根据一系列地位环境指标和植物指示指标。在土壤肥力組之中他們区分出松林(бор)、混交松林(суборь)、混交櫟林(сугрудок)和櫟林(груды)，而在湿度組之中——干燥、稍湿、湿润、潮湿、过湿等森林地段类型。其結果获得了由 20 个基本森林地段类型組成的网格表(сетка)。除了

森林地段类型之外,学者們还区分出林型(тип леса)以及林木型(тип древостоя)¹⁾。

應該指出,生长地条件类型学應該首先在自然区域范围内制定,例如在植物地理省的亚地带截段水平上制定。

植物群落的演替*

植物群落的动态(Динамика растительных сообществ)“植物群落的动态”这一概念是非常广泛的,它包括植物群落生活的不同方面。例如B. H. 苏卡乔夫(1942:5)建議区分下列植被动态的型式:

A. 植物群落的动态。

1. 由于建群种的个体发育而发生的植物群落的改变。
2. 植物群落的天然更新过程。
3. 植物群落季相的季节更替。
4. 植物群落的年际更替²⁾。

B. 植被的动态(演替)。

1. 群落发生演替。
2. 内因生态演替。
3. 外因生态演替³⁾。

B. 植物群丛以及其它植物群落学分类单位的群落系統发生(филоценогенез)。

植物群落动态的研究,也就是更新过程的研究,群落的季节和年际变化的研究,决不能象某些研究者,例如划分“群落形态学”和

* 以后,象在我国文献中通常所采用的那样,我們把“сукцессия”和“смена”两个术语看做同义语。

1) Д. B. 伏罗布约夫(1953:19)写道:“森林地段类型,或土壤环境(生境类型,生长地条件类型)联合气候上、地理上、分布区发生上(ареогенетически)彼此替代的,按土壤肥力相似的林型”。

2) B. H. 苏卡乔夫称为“植物群落的按年的更替”。

3) B. H. 苏卡乔夫称为“外因动态演替”。

“群落生物学”的 B. A. 貝科夫(1957)那样, 脫离群落結構的分析。我們在前面关于植物群落的結構一章中已討論了植物群落的动态。

在本章中, 我們將仅可能簡短地談談植物群落的演替。然而在这里必須強調指出, 在上述意义的植物群落的动态和植物群落的演替之間并沒有不可踰越的界綫。植物群落的演替过程在大多数情况下是由它們的季节变化和年际变化組成的, 但是是在它們的結構中产生和增大质的改变的情况下:在这个过程中, 通常既在环境条件中, 也在植物群落的結構中觀察到这些或那些量的改变过渡到象这样的生境和植物群落的质的改造。

植物群落演替的机制 基本上决定于下列因素:1) 不論是外界(对植物群落而言)因素或是植物群落本身对环境的影响(归根結底是生理上起作用的状况)所引起的环境条件中的外因变化和內因变化;2)植物原始体的散布, 或按照 B. И. 維爾納茨基的話說, “生命的繁衍”; 3)不論是間接的——通过环境的, 或是直接的植物之間的相互作用; 4) 在这些或那些植物群落的組成中新的植物分类学单位(生态型、亚种、种)的产生。

如前所述, 对植物群落而言外界地位环境因素之中, 人类的經濟活动在目前在所謂自然植被的生活中起着巨大的作用。人类的經濟活动常常在早先存在的植物群落中引起灾难性的变化, 或引起植物群落的完全毁灭。灾难性影响的基本形式是森林的砍伐和挖除伐根、火灾、家畜的过度放牧、开荒、地质活动、泥炭沼泽的整理、刮去土被和使沒有成土作用的岩石裸露出来以及建設人工水体, 或者, 这些或那些地域的长期淹没, 等等。但是自然植被的灾难性破坏或完全消灭, 在一系列情况下也制約于自然因素, 主要是地质方面的因素: 雪崩、山坡上石块的崩落、水的侵蝕、强烈而又快速发生的火山的、冰川的、冰水的、坡积和冲积沉积物, 等等。

然而許多外界地位环境因素能够影响植物群落, 緩慢地和逐漸地引起它們的演替。这涉及的是地壳的构造运动, 它改变侵蝕基准、海洋的岸綫等等的位置。气候的改变通常也是逐漸地发生

的。

植物群落本身对相应生境的作用所引起的那些环境条件的变化也是以缓慢的速度发生。

所有这些以缓慢速度进行的，生境以及相应的或多或少建成的植物群落的内因和外因动态变化，在甚至若干代人的心目中造成一种印象，即自然植物地图是不变的。然而这种印象实际上是虚假的，它只不过反映着人类生命的有限范围。

“生命的繁衍”——植物原始体的散布——在植物群落演替过程中也起着非常大的作用，它决定着彼此更替的群落的种类组成。在植物群落演替的比较早期的阶段，原始体状况的作用特别的大，但是，相反，在或多或少建成的（“密闭的”）植物群落中，外来原始体的散布的作用就大大减小，在建成植物群落中，新种的侵入是十分困难的。完全自然，建成群落可以存在或多或少很长的时间而没有重大的改变，只要保持组成这些植物群落的植物种原始体状况的正常数量的话。这些原始体保证了这些植物群落的天然更新。

不论是否是间接的，即通过改变环境的，或直接的（见上述）植物之间的相互作用，在演替进程中当然起着巨大的作用。关于这点我们将后面详细讨论。

小演化（микроэволюция）（Тимофеев-Ресовский, 1958），也就是在这些或那些植物群落的种群中所进行的发生学过程，特别是新的生态型、亚种和种的产生，同样可以引起植物群落的演替。这特别是涉及那种情况，即当产生新的竞争能力强的生态型、亚种或种的时候。

演替的类型（分类） 正如Л. Г. 拉缅斯基在当时曾经指出过的那样，依类型学的原则（根据）的不同，植物群落演替的分类可以是各种各样的。Л. Г. 拉缅斯基（1938:326, 327）曾经发表了下列“演替形式”的“分组”：1) 按在时间上的发展；2) 按植被的状况和动态趋势（потенция）；3) 按制约演替的主导因素。还可以给这些“演替组”补充一个组，即按在其上或在其中（水）进行植物群落的演替的基质性质而划分的演替类型组（Clements, 1916, 1928, 1936；

Мак-Дуголл, 1935)。

按照在时间上的发展, Л. Г. 拉缅斯基(1938)区分下列演替:
1) 与大陆和植物区系的进化相联系的世纪演替(Вековая смена)
(可参阅 Е. М. 拉甫连柯, 1940); 2) 延长几十年和有时几百年的
长期演替(длительная), 以及 3) 在几年或不多的几十年期间发生的
的快速演替(быстрая)。

В. Н. 苏卡乔夫(1942)把占有在地质学意义上很长时期的世
紀演替叫做群落系統发生(филоценогенез), 而 Б. А. 贝科夫
(1957)叫做植物群落发生(фитоценогенез)。这是植物群丛的发育
过程, 在这个过程中结合着已经存在的种和种内分类单位在植物
群落中的配合現象(явление комбинирования)与种内分类单位的
形成过程。在这里, 植物群落的发育紧密地联系着植物种的发育。
植物群落系統发生——这是一个不间断的过程, 总的看来, 它
是十分緩慢的, 但是在构造过程加强, 或气候較迅速地改变的条件
下它会加快。群落系統发生归根結柢是由比較快的演替变化[按
В. Б. 索恰瓦(Сочава, 1944), 是新生(неогенез)]組成的, 按照
Л. Г. 拉缅斯基的其余两个按时间排列的植物群落演替組可以列
入这种較快的演替变化。

云杉林采伐后产生的樺树林或松林仍被云杉林所演替, 可以
做为长期演替的例子。一般的說, 木本群落被木本植物群落的演
替是进行得十分长的。在泰加林地区的开垦地上云杉林的恢复过
程还要更长。

掘土动物的洞穴上的或草原撩荒地上的演替可以做为快速演
替的例子, 但是, 只有开荒地段比較小, 并且散播种子的来源地也
邻近撩荒地的条件下, 才可能是快速演替。种子来源地对于撩荒
地生荒化过程(草原草丛禾草和草原杂类草的出現)的較后期阶段
有特別的意义。如果开垦的生荒土地占据广闊的面积, 而它的附近
也沒有留下散播种子的来源, 那么撩荒地的生荒化过程可能延长
到几十年, 也就是說, 成为长期演替了。

“按植被的状况和动态趋势”, Л. Г. 拉缅斯基(1938:326)区

分出：1)与植被的破坏相联系的演替和2)“未破坏植被目前均衡状态的演替”。В. Д. 阿列克山德罗娃(Александрова, 1958)称前者为灾难性演替(катастрофическая смена)，而后者为发育演替(смена развития)。

灾难性演替的基本因素上面已經列举过。在这种演替的情况下，原有植物群落或者整个地消失，或者只从原有植物群落保留微小的痕迹——最常見的是以种子或营养原始体的形式保留下来；这时原来植物群落的建群种完全消灭。因此，在这种情况下植物群落的发育将重新自先鋒(开始)阶段开始。

发育演替沒有这种植物群落的显著和迅速的破坏，它在一定程度上是逐渐地进行的；决定这种发育的因素既可以是外界因素(外因演替)，也可以是与群落成分生命活动的結果相联系的内部因素(内因演替)。

苏联的地植物学家，特别是 B. H. 苏卡乔夫曾經首先制定出根据制約这一或那一植物群落演替的主导因素的演替类型学。当然，在該情况下所注意的只是主导因素，因为在自然界中觀察到的大多数的具体演替，总是多个因素引起的。

B. H. 苏卡乔夫在自己的著作中不止一次地提到植物群落演替的类型学問題，常常改变相应的术语，但是始終未改变把植物群落演替的分类建立在对这些演替的主导因素的考虑的基础上。前面已經引述过从他的 1942 年的著作中借用过来的演替的分組。在他較晚的著作中他区分出下列植物群落 演替 类型 (Сукачев, 1950, 1954)。

群落发生演替(сингенетическая сукцессия)[群落发生(сингенез)] 在原生裸露的(例如，河流浅滩、海滨沙丘)或次生裸露的(例如，荒弃的耕地)新地段被植物占滿时觀察到 (Александрова, 1958)。裸露地上开始侵入的是先鋒植物(растение-пионер)，它們的組成在很大程度上依賴于植物原始体的地方状况。往后，先鋒植物被其它种类所排挤。正如 B. H. 苏卡乔夫所說(1950: 460)：群落发生乃是“地段被植物所占滿的过程，植物之間为了地盤和生

活資料而斗争的过程，以及各种植物的共居和它們之間相互关系的形成过程”。

在植物群落的群落发生演替过程中，环境条件产生某些变化，但是，按照 B. Д. 阿列克山德罗娃(1958)，这种变化还是可逆的，因为并没有发生环境条件(特别是土壤)的根本的改造。B. Н. 苏卡乔夫(1954:304)认为，“可見，在这种情况下(指群落发生——拉甫連柯)环境的变化不是植物群落变化的原因，而是它的后果”。

内因生态发生演替(эндоэкогенетическая сукцессия)，或内因动态演替(эндодинамическая сукцессия)¹⁾制約于环境的变化，但这种环境的变化是植物群落成分(主要是建群种)生命活动的結果。植物群落改变了生境，因而植物群落本身也发生改变；或者由于原先植物群落中存在的植物种的重新配置的結果，或者由于种子散播的結果外来的其它植物代替了原先的建群种或植物群落的其它成分。大家所熟知的这种演替的例子：水体植物丛生时的演替、闊叶林被云杉林所演替，等等。B. Р. 威廉斯(Вильямс, 1922)和 И. А. 季托夫(Титов, 1934, 1952)在他們的著作中描繪了内因动态过程的广闊图景。

外因生态发生演替(экзоэкогенетическая сукцессия)，或外因动态演替(экзодинамическая сукцессия)²⁾由不是与植物群落成分的生命活动相联系的环境条件的改变所引起，也就是由对植物群落而言是外界的因素所引起。

这种演替很容易根据引起它們的因素进一步划分，因为演替本身的性质以及它們的速度依賴于后者。我們在 1940 年(Лаврен-

1) B. Н. 苏卡乔夫在 1950 年的著作中也把这种演替称为“完全发生演替”(голо-
генетическая сукцессия)，但在 1954 年的著作中，这种演替被划分成特殊的一組，并且其特征是“由于更大的統一体变化的結果而引起的植被变化过程，該生物地理群落进入这种統一体的組成，例如整个地理环境或它的个别部分：大气圈、岩石圈等等”。B. Н. 苏卡乔夫同时指出，以前他沒有将这种演替与内因生态发生演替区分开。

2) B. Н. 苏卡乔夫(1950, 1954)也把外因生态发生演替或外因动态演替称为异因发生演替(гейтогенетическая сукцессия)。

ко, 1940:173) 曾經建議過下列外因生态发生演替或外因动态演替的分类:火起因演替(在火的影响下)、气候起因演替、土壤起因演替、动物起因演替和人类起因演替。Б. А. 貝科夫(1957)提出稍有不同的这种演替的分类,但根据同样的原則。

人类起因演替通常被解說得非常广泛。可是我們认为,應該狭义地理解它們,只有那些由于人类的劳动工具对植被的直接影响(森林的采伐和挖除伐根、割草、开荒,等等),或者象草甸施肥那样的措施等等所引起的演替才能列入这种演替。在目前,人类經濟活动的影响不仅对植物地圈,而且也对整个生物圈是如此的巨大,以致人类的間接影响表現在植被的大多数演替过程中。基于这一点,許多植物群落学演替似乎應該列入人类起因演替,这种情状似乎誘使我們离开演替直接因素的研究。

象前面已經提到过的,美国植物学家們从在其上进行植被的演替改变的基质性质出发,曾經制定出演替的类型学。例如,他們区分出植物群落的水生演替系列(гидрическая сукцессионная серия)和旱生演替系列(ксерическая сукцессионная серия)。水生演替系列是植物群落的发展从水中或潮湿土壤上开始,并由水生群落向中生群落的方向进行。旱生演替系列是植物群落的发展在干旱基质上进行,并由旱生植物群落向中生植物群落发展。В. Б. 馬克·杜戈尔(1935:148)列举了下列按基质性质的水生演替系列和旱生演替系列的划分:1)水生演替系列(hydrarch);(1)粘土演替系列(geosere),(2)砂土演替系列(psammosere),(3)岩石演替系列(lithosere),(4)水演替系列(hydrosere);2)旱生演替系列(xerarch);(1)粘土演替系列(geosere),(2)砂土演替系列(psammosere),(3)岩石演替系列(lithosere)。

所有上面討論过的以不同原則做为根据的植物群落演替的分类,都是有用的,但是它們之中最有內容的是根据制約植物群落演替的因素的分类。

演替系列和頂极(Сукцессионная серия и клиакс) 在美国, F. E. 克勒門茨(Clements, 1916, 1928, 1936)制定了关于演

替和頂极的學說，這一學說對全世界的地植物學產生了很大的影響，只有蘇聯地植物學除外，雖然在蘇聯，也有個別的學者發表過接近於 F. E. 克勒門茨的某些原理的思想。只有 B. H. 戈羅德科夫 (Городков) 在他的科學活動的最後時期完全贊同了 F. E. 克勒門茨的觀點 (Городков, 1944, 1946)。

讓我們簡短地談一談 F. E. 克勒門茨關於演替和頂極的學說。

演替 (succession) 過程 在這個過程中地表同一個地段順序地被不同的植物群落所占據。演替的單位就是系列 (sere)，它包括在該地段上順序地發育的，從先鋒或初始階段經過演替階段到最終於頂極 (клиакс) 的植物群落¹⁾。

演替系列在裸露基質上開始，而該基質的特性對於演替性質發生著影響 (參見前文)。演替是從定居 (ecesis) 開始的，也就是這些或那些植物種在沒有植物的地段上固定下來。在這種情況下“定居”概念包括從這一或那一植物種散布種子的時候開始，到它在該地段上固定下來為止的全部過程。定居現象在該地段上就是後來直到形成頂極以前都並沒有停止。當在地段上形成或多或少密閉的植被的時候，就開始出現競爭，這種競爭在系列的演替階段的群落中進行得特別強烈。演替階段群落和頂極群落還以“反應” (reaction) 也就是以植物群落成分對環境的作用為特點。

在演替頂極 (climax) 的最後階段，群落的結構達到穩定，群落和氣候之間達到一定的均衡。頂極植物群落乃是成熟狀態，而先鋒和演替植物群落只是發展的階段。

因此，按照這種觀念，在演替中，環境條件和順序改變自己組成的該地段上的植物居住者彼此相互作用和反作用，原因與結果

1) С. Я. 索科洛夫 (Соколов) 在他的著作中把完全另外的現象稱為“系列” (серия)，而沒有考慮到 F. E. 克勒門茨已經早就按另外的意義使用了這個術語。С. Я. 索科洛夫 (1938:37) 寫道，“系列——這是林型組，它不依賴於在林木層中占優勢的喬木樹種，在所有其他層次中具有一致性”。這位學者還區分出另外的類似的分析概念：環 (цикл)，它聯合具有“由一個優勢種建立的若干個在外貌上相似的層次，”的系列。特殊環 (специесцикл)——“環組，在其相似的層中一個種占優勢”。

相互轉化，直到演替頂极达到均衡状态为止。按照 F. E. 克勒門茨，頂极植物群落永远是該环境条件下，首先是气候条件下最中生的群落。因此演替或者是从比較水生的群落向中生的群落发展（水生演替系列），或是从比較旱生的群落向中生的群落发展（旱生演替系列）。

演替頂极只有在气候条件改变的情况下，或者在植物区系发生重大变化，出現任何新的植物分类学类群的情况下，才可能改变。

F. E. 克勒門茨把演替頂极与有机体相比拟；象有机体一样，演替頂极产生着、生长着、成熟着和死亡着；这是演替頂极的个体发育。每一个演替頂极由前一个演替頂极发展而来；这是它的系統发生。在过去的地质时代中，存在过另一些頂极，称为古演替頂极（eo-climax），它是以特殊的植物分类学类群占优势的。如果沒有人类經濟活动的影响，現代的演替頂极都是稳定的。

从上述可以看出，F. E. 克勒門茨对演替頂极的觀点在某种程度上和“动态平衡”（подвижное равновесие）的静态觀念相似。对于植物群落的“动态平衡”的觀念是本世紀二十年代許多苏联学者（А. А. Еленкин，А. П. Ильинский，Л. Г. Раменский，В. В. Алексин）发展过的。大家知道，在三十年代里，曾經贊同过这一觀念的苏联植物学家从新考慮了自己的觀点，并且放弃了自己以前的錯誤看法。

然而，正如恩格斯（1934:13）在“自然辯証法”中所曾經指出过的，“沒有相对的靜止就沒有发展”。“在我們的領域內（即在植物群落內——拉甫連柯），均衡状态为死亡率和繁殖率的平衡所調节，而发展是沿着长期进化和較快速的改变的途径进行”（Раменский, 1938:325）。

演替頂极的不变性是极其相对的，因为就是在演替頂极中也发生着环境条件的緩慢的改变过程，这种改变必然也在相应植物群落的結構中反映出来，并且进行着从来也不停止的群落系統发生过程。人类关于時間的觀念是极其相对的；对于只有以地质时

間的規模才能觉察出变化的許多自然过程的研究來說，即使是許多代人类的寿命也太渺小了。

因此，讓我們回忆植被內因动态演替的辩护者的 B. P. 威廉斯 (1922:206)，他在当时关于草原这样写道：“……显然，草原的針茅时期的特征是具有不定的生存期限”。Л. Г. 拉緬斯基 (1938:328) 也曾发表过这种正确的思想：“在理論上，應該承认演替的趋势是普遍的，但是实际上当然也存在着面积辽闊的森林、草原和荒漠等等，它們在几千年期間不改变自己的类型(如果撇开不深刻的局部的演替——向不同方向的改变的話)”。

在苏联地植物学文献中广泛使用的关于根本植物群落 (коренное растительное сообщество) (群丛、林型，等等) 的概念，在某种程度上接近于“演替頂极”的概念。然而这两个概念是不完全符合的。例如，中泰加林亚地带中的具欧洲越桔的真蘚云杉林 (*Pinetum silvestris myrtillousum*) 既是中泰加林 (壤土上) 的演替頂极，也是根本泰加林群丛。在稀疏的草被中 *Stipa orientalis* 和 *Artemisia frigida* 占优势的，哈薩克低丘陵区石质丘陵上的石生 (多石的) 草原是根本植物群丛，但不是演替頂极，因为这只是上述区域中在坚硬的石质土上緩慢的植被发展过程的一个演替阶段。这种石生草原分布区域內的演替頂极或者是杂类草貧乏的針茅 (*Stipetum lessingianae*) 草原——在干旱草原或羊茅—針茅草原亚地带，或者是白蒿—тырса 草原 (*Stipetum sareptanae lercheanae-artemisiosum*)——在荒漠草原或蒿类—羊茅—針茅草原亚地带。

形容詞“根本的”在苏联地植物学文献中是用以标记天然植物群落、群丛等等，它与衍生植物群落 (производное растительное сообщество) (群丛，等等) 概念是相反的。衍生植物群落是在人类經濟活动的影响下产生，并且是这(或那) 演替系列中的演替阶段。

苏联森林学家所謂的暂时群落 (временник)，也是森林帶內砍伐的林地或荒弃的耕地上植被发展的演替阶段。

因此，在我們的日常的研究工作中應該利用 F. E. 克勒門茨所

引入的关于演替系列和頂极的概念，当然，不賦予演替頂极以絕對的意义。

我們應該无条件摒弃的是 F. E. 克勒門茨所設想的把演替頂极与有机体相比拟。虽然植物群落也是由植物所組成的，但是不容許把植物群落現象与做为有机体 特征的 那些現象做任何的类比。不要忘記，有机体是最高級的完整的体系，它的各部分之間有着不可分割的联系，而植物群落虽然也是完整的体系，但它的特点是完整性的程度要低級得多，因为在植物群落中可以觀察到各个部分——进入植物群落的植物具有相当大的自由性 (Александрова, 1958)。

F. E. 克勒門茨 (Clements, 1936, 1949) 区分出若干演替頂极类型。上面已經提到古演替頂极。下面讓我們引述克勒門茨的汛演替頂极 (panclimax) 的定义 (Clements, 1949:158)：“汛演替頂极……包括两个或更多的有亲緣关系的演替頂极或群系，它們具有相同的一般气候条件，相同的生活型以及优势种的共同属”。这种广义地理解的“演替頂极”的概念符合于 苏联学者們的“地带性植被”(зональная растительность)的概念，地带性植被是或多或少平坦地段的，占据着按 Г. Н. 維索茨基理解的显域地境 (плакор)的植被¹⁾。

因此，苏联泰加林地区(地带)的汛演替頂极是由 *Picea*、*Abies*、*Pinus*、*Larix* 等属的种組成的針叶林；苏联草原地区(地带)的汛演替頂极——羊茅-針茅草原，等等。也可以分出各个亚地带的汛演替頂极。

然而，对于亚地带的各个省段可以比較准确地确定出演替頂极；这将是一定的群丛，或更确切地說，群丛組。

在亚地带的省段范围内可能存在一个演替頂极？抑是更多？考慮到在显域地境条件中完全形成的細粒土壤的机械組成的差异，我們认为，这样十分狭义地理解的演替頂极在一个自然区域内可

1) H. 瓦爾特 (Walter, 1954) 已經做过这种对比。

以有好几个。例如，在泰加林地区的欧洲部分和西部西伯利亚部分的沙质土上，演替顶极是松林的这些或那些群丛组，而在壤土或粘土上——云杉林的或乔木层组成比较复杂的暗针叶林的这些或那些群丛组。

植物群落演替的研究 可以用直接的方法进行，也可以采用某种间接的方法进行。

对快速演替和多多少少相对长期的演替可以进行直接的观察。对于这样的观察，特别是在长期演替的情况下，最好的方法当然是自然保护区(заповедник)。在自然保护区中或其它保护地段上也可以布置各种实验工作，借助于这种或那种影响来研究演替，例如：乔木和灌木的采伐、不同割草制度下的割草、不同牲畜种和不同载畜量下的放牧和不同季节放牧制度下的放牧、去除植被使土壤裸露和剥去土壤使底土暴露的开垦，等等。这些可能进行实验的项目已经强调说明了研究演替不论在理论方面或在实践方面的巨大科学意义。

泥炭沼泽的植物学分析结果提供关于沼泽植被过去演替的直接情报。关于不久以前森林组成变化的某些资料，可以根据森林中死地被物的分层花粉分析获得。

间接方法归结如下。

正如前面已经指出过的，植物群落结构的分析，特别是组成群落的植物种的种群的分析，对于过去演替的概念可以提供十分多的东西。

关于地表某一地段上过去的环境条件(包括生理上起作用的状况在内)的重要情报，在许多情况下可从土壤的发生学分析中得到。在重建生境演替的基础上也可以重建植物群落的演替。在Т. И. 波波夫(Попов, 1914)的关于奥克-顿河低地山杨林丛起源的经典著作中引述了类似重建的很好的例子。

比较久远的过去的生境条件，在一系列情况下可以借助于地貌的发生学分析加以重建，特别是配合着古土壤学的观察和年青的表层地质沉积物的孢子-花粉分析。И. М. 克拉舍宁尼科夫

(Крашенинников, 1922) 关于草原带河谷植被发展的主要著作之一可以做为根据类似的古地理学分析恢复草原带河谷植被发展的主要途径的例子。但是这里我們已經过渡到世纪演替了。

植物群落的分类和地理学問題

在本文中我們只能非常簡短地談一談植物群落的分类¹⁾ 和植被地理学的某些問題。

植物群落的分类問題 是植物群落学中最复杂的問題之一，它吸引着地植物学家的很大注意。在前述各章中所提出的，对植物群落的那种理解的情况下，植物群落分类的基础應該是它們的层片結構：各个层片之間的关系，特別是建群层片的存在、建群种和从属层片的优势种的組成。这样的处理方法提供了关于总的植物物质以及它在植物地圈剖面上，不論地上或地下部分的分布的概念。这不仅具有实用上的意义，而且也使我們有可能判断关于作为地球表面固定太阳能和积极地或消极地改造生物圈的一定层的植物有机体体系(結合)的植物群落的相应类型。

不論苏联或是外国的大多数地植物学家都认为植物群落分类的基本单位是植物群丛。然而不同的地植物学学派采用不同的群丛范围，并且給予它或多或少不同的定义。

大多数苏联地植物学家把植物群丛 (растительная ассоциация)看做是植物群落的联合，这些植物群落的层片結構相似，在所有基本层片中的优势种(包括优势层片中的建群种在內)組成相同，在植物之間以及植物和环境之間具有同样的相互关系²⁾。

群丛以外，在苏联地植物学文献中，也把群系和植被型列入植

1) 在“野外地植物学”第三卷中将有專門的一章討論植物群落的分类。

2) B. H. 苏卡乔夫(1957:18) 紿植物群丛的定义是这样：“植物群丛 (植物群落类型)……联合以同样程度参加地表面(或更确切地說，它的植物地圈)上物质和能量的积聚和轉化的所有植物群落。与此相符合地，这些植物群落的基本特征是：具有相似的种类組成，相似的反映相应植物生态学类型組成的层片結構以及相似的影响群落学过程的环境因素組成。”

物群落分类的基本从属单位 (субординационная единица) 之中 (Быков, 1958; Шенников, 1958)。

群系 (формация) 联合具有相同建群种 (也就是优势层片的优勢种) 组成的群丛。Б. А. 贝科夫 (1958) 区分出单优群系 (моно-доминантная формация) (具有一个建群种) 和多优群系 (кондо-минантная формация) (具有若干个建群种)。许多草原群系 (叶尼塞河上游的“四禾草”草原)、混交林等等是后者的例子。

植被型 (тип растительности) 是群系的联合, 这些群系的优勢层片的建群种种类组成不同, 但建群种的生活型组成相同, 换句话說, 植被型联合了具有同一生活型的建群种的群系。例如, 以落叶闊叶低溫乔木树种占优势的闊叶林, 以旱生低溫多年生草本植物 (主要是草丛禾草) 占优势的草原, 等等。

植物群丛中全部基本层片的优势种种类组成以及植物群系中优势层片的建群种组成的相似性, 說明植物群落分类的这些分类学单位有发生上的一致性¹⁾。

植被型尽管有它形态-生态学的内容, 但实际上也有一定的发生学的共同性。这种共同性通常表現在: 1) 大多数层片的优势种成分 (包括建群种在内) 属于同一个属或相近的属 (具有大量的地理替代种); 2) 一定的环境条件的一致, 在这种环境条件中在或多或少长久的地质时期内发育了該植被型; 3) 这一或那一植被型发育的一致的年代范围, 这使我們有可能談到植被型的年龄——指的是开始形成它的时期。

难道可以怀疑巴西、刚果盆地以及东南亚 (主要是印度尼西亚) 潮湿热带林或希列亚 (Ильинский, 1937) 的一定发生上的一致 (上述意义的) 性嗎? 尽管有巨大的空間在目前把希列亚的这些植物学地区分割开, 但是无论在它們的层片结构上, 或是在它們成分的科、属组成上, 都有很多的共同点。阿帕拉契 (在北美)、远东

1) 显然, 在那种情况下, 当优势层片的建群种是具有广大分布区和广闊生态幅的种时 [例如欧洲赤松 (*Pinus sylvestris*)], 划分群系时就不應該以种为根据, 而應該以亚种 (地理小种) 为根据。

(在亚洲)和高加索—欧洲植物地理地区的落叶阔叶林植被型沒有疑問存在着发生上的共同性。这三个現在如此远离的植物地区中阔叶林的按上述意义的发生学接近性曾經不止一次地被植物地理学家強調过。欧亚大陆、北美以及甚至阿根廷南部(巴塔哥尼亚)的草原,不仅在它們的层片結構和生存条件上,而且也在它們成分的属的組成上具有許多共同点,等等。

上面所解說的关于植被型的概念,可以称为外貌-生态的概念。然而这里面并沒有什么不好。艾伦堡(Ellenberg, 1956)完全正确,他指出,沒有类似的外貌-生态的高級单位,不可能进行全地球植被的分类。

大家知道,現有的植物群落的分类系統 (система классификаций растительных сообществ) 在自己的原則上是非常不同的 (Braun-Blanquet, 1951; Быков, 1957, 1958)。布瑙-布朗喀区分出下列植物群落分类系統¹⁾: 1) 外貌的 (按 B. A. 贝科夫是形态的), 例如 O. 德魯德的分类, 等等; 2) 生态的 (E. 瓦尔明的, 格勒布納的, 等等); 3) 外貌-生态的 (A. 辛柏尔的, 狄尔斯的, 布罗克曼-耶罗什和留貝尔的, Ф. Фиргаппер的²⁾, 等等); 4) 分布区的, 或按艾伦堡, 分布区地理-生态的 (E. Шмид的分类); 5) 动态-发生的 (F. 克勒門茨的, A. 坦斯黎的以及其他盎格魯撒克逊学者的); 6) 区系的: (1) 根据优势种的統計, (2) 根据植物群落共同度系数的統計, (3) 根据这一或那一群落的种的确限性 (特征种) 的統計。大家知道, I. 布瑙-布朗喀本人是以特征种的統計做为他的分类的基础。應該指出, 在西欧以及在某些其它国家 获得广泛承认的布瑙-布朗喀的分类, 是經過最充分研究的分类系統之一。

还可以給这种植物群落系統补充一个, 这就是有时称为植物群落系統发生的(филоцено-генетическая)分类, 但是最好称它为历史-发生的 (историко-генетическая) (A. И. Лесков, 1943;

1) 艾伦堡 (Ellenberg, 1956: 39) 提出一个相近的, 但稍有不同的 植物群落学系統的概述。

2) A. П. 伊里因斯基(Ильинский, 1937) 的植被类型系統也应列入这类。

В. Б. Сочава, 1944; А. А. Корчагин, 1946 等人的分类)。最后这一系統的学者們按照植物系統分类中系統发生图式的样式描繪出不同类型植物群落发展的“系統发生”图式 (“филогенетическая”схема), 基本上把現代植被的发展看作是比较复杂的群落 (具有复杂层片結構的多优势种群落)解体为比較简单的群落。

因此,对于在植物群落分类时采用的某些原則,必須提出下列一般性的意見。

1. 虽然地球表面植被的总的发展也与植物界的进化相联系,但是在任何情况下絕不可以象某些学者所提出的那样,把植物分类的系統发生原則,用到植物群落的分类上来,把植物群落发展的图式描繪成系統发生树的形式。在有机体和植物群落的发展中,有选择作用的环境起着巨大的作用,但归根到底有机体的发展是建立在“血緣”联系的基础上,而植物群落的发展是建立在原始体状况的基础上。

2. 当以动态-发生观点进行植物群落分类时,是根据植物群落之間的演替相互关系,也就是根据植物群落本身以外的特征(环境的改变)。何况,解决該群落是頂极群落还是演替系列群落的問題,常常是非常困难的。

3. 决不能只根据区系組成,特别是根据特征种,而不考慮群落的生态-生物学組成,它的层片結構等等,进行植物群落的分类。

4. 在任何情况下决不能把地域的植物地理(地植物学)区划和植物群落的分类混淆起来。Б. А. 貝科夫 (1958:14) 认为根据“地植物学景观”¹⁾的考慮,可以建立起植物群落的“地理学分类”,“地植物学景观”它“或者是若干个具体的植物群丛,或者是群丛复合体,或者是群丛的組合”。群丛复合体和群丛組合不可能是植物群落的分类单位,因为它们本身是由极其不同的植物群落組成。

В. Б. 索恰瓦(Сочава, 1958)在他最近的一篇关于建立統一的

1) 决不能說“地植物学景观”(геоботанический ландшафт)。景观——这是地理学的概念,它不可避免地包括了地形形态、表层地质沉积物、植被、动物界等等的結合。植被——只是景观的一部分。

植被系統的著作中,列举了一个十分复杂的植物群落分类系統。这个系統的高級单位带有植物地理学的性质,而把植物群丛划分为根本(коренная)群丛,系列(自然系列——拉甫連柯)(серийная)群丛,长期衍生(длительно производная)群丛和短期衍生(кратковременно производная)群丛,照布瑙-布朗喀的术语來說,具有动态-发生的性质。

B. B. 索恰瓦(1944, 1945, 1958)引入的族团(фратрия)概念是有用的。然而决不能把它看做植物群落的分类单位。这个不如說是历史-地理学的概念,它指的是或多或少长期地基本上存在于一定自然区域(地区或省)的不同群丛、群系以及甚至植被型的总体,在此长期的过程中借助于种的相互交换,以及借助于层片的进占(инкумбация синузий)和撤出(декумбация синузий),发生这些不同结构植物群落的形成过程(Сочава, 1930)。換句話說,族团——这是长期存在的并列发生的(парагенетический)不同类型植物群落的組合。

再談一个涉及植物群丛如何确定的問題。

或多或少有經驗的研究者,还在野外工作时已經逐渐形成了关于最主要群丛以及它們对于这些或那些自然条件(生境)的适应性的概念。然而这些一般的觀察必須借助于野外描述的样地的分析,加以肯定和訂正。假使这样的样地不多,那么比較容易将它們分配到在野外初步确定的群丛之間去。如果描述的样地很多(几十个到甚至几百个),那么就要求对它們,首先是各个样地的植物名录,进行专门的分析。有两种分析样地植物名录的方法——I. 布瑙-布朗喀的方法(Braun-Blanquet, 1951; Ellenberg, 1956)和Л. Г. 拉緬斯基的方法(1937, 1938)。可惜,到現在为止还没有人对这些方法进行过比較分析。

植被地理学的問題 在苏联在十月革命以前时期已經有成效地研究过,并且現在继续在积极地研究着。

在植被一覽图的制作方面,特別是苏联及其毗連地区的,我們(指苏联地植物学家。——譯者注)已取得頗大的成就,这在科学

刊物上已經多次地報導過(參考 E. M. 拉甫連柯, 1958 ; B. B. 索恰瓦, 1958 關於這個問題的最近的概述), 因此, 關於這方面我們將不多談了。僅僅指出一點: 在這方面蘇聯植物學制圖的基本任務應該是編制 $1:2,500,000$ 和 $1:1,000,000$ 比例尺的蘇聯植被圖。大家知道, 整個蘇聯的最新最詳細的植被圖是 $1:4,000,000$ 比例尺的“蘇聯地植物學圖”(1956)。

蘇聯已經進行了並且正在進行着編制 $1:200,000$ — $1:5,000$ 比例尺的大比例制圖的巨大工作。但是在這一領域內感覺到在綜合已經積累的經驗和制定大比例尺植被制圖的某些理論問題方面不夠。

做為關於植物群落和整個植被地理學的原始的比較資料, 最好積累有能代表某些自然區域的索引地段 (ключевый участок) 的最大比例尺 $1:5,000$ 或更大比例尺的圖(平面圖), 在其上繪出屬於這些或那些群叢的具體植物群落。對於同樣的索引地段必須以同一比例尺編制地形圖、土壤圖、土壤母質圖(標明母質的年齡和岩性)、潛水圖, 等等。這些圖(平面圖)應該附有詳細的生態剖面 (экологическая профиль), 在剖面上標明相對高度、植被、土壤、底土、潛水(如果它們接近地表的話), 等等。

這樣的詳細圖(平面圖)和剖面將是研究植物群落複合體和組合 (комплекс и сочетание растительных сообществ) 的原始資料。

無論是蘇聯整個領土或它的各個部分的地植物學區劃 (геоботаническое районирование) 也是極其重要的工作。同樣在這一領域內, 蘇聯許多地植物學家集體進行過大量的工作。對於整個蘇聯領土來說, 根據植被性質做出的最詳細的領土區劃方案是 1947 年出版的“蘇聯地植物學區劃”。目前, 由於新的資料的積累, 要求對此區劃做某些修改和補充。在這個著作中, 最大的區劃單位是地區 (область), 它的特徵是在顯域地境 (плакор) 上, 也就是排水良好的平原或低山條件下具有一定的植被型, 以及在山區具有一定的垂直帶性系統 (система поясности)。此外, 每一個地區

也以植物区系的系統組成，特別是屬和種的特有現象的存在為特
征。在植被歷史方面也有差異，特別是各個地區的年齡的差異。
地區沿緯度方向伸展，並且在這種情況下與土壤-植物地帶（зона）
相符合。地區進一步劃分為帶域（полоса）[亞地帶（подзона）]
——沿緯度方向和省（провинция）——主要是沿經度方向。被帶
域所分割開的省的部分分成縣（округ）。按其位置主要是海洋性
的，佔據相對有限地域的地區，分為省和縣，或直接分成縣。在蘇
聯範圍內總共分出 11 個植物地理地區。

儘管還有某些缺點，但是這個區劃：1)並沒有夸大地植被的緯度
地帶性，2)以同樣的程度反映了地帶規律性和省規律性，3)沒有把
山區植被分布的規律性和緯度-地帶現象割裂開，而把它們看做是
共軛的現象。

包括蘇聯全部領土或它的各部分的地植物學圖，反映了植被
地理分布的基本規律性，這種規律性依賴於一系列因素，首先是依
賴於氣候、地形條件（地貌）、土壤，也依賴於地方的地质歷史。

蘇聯植被與這些地位環境因素的聯繫已經研究到什麼程度？

蘇聯的自然地理學家——Л. С. 貝爾格（Берг）、А. А. 格里哥
里耶夫（Григорьев）、С. П. 蘇斯洛夫（Суслов）等人已經做過一
些最一般的工作。

地植物學家在他的研究工作中通常非常注意植被和地形的聯
繫。例如，在上述蘇聯地植物學區劃（1947）中對植被與地區的地
貌劃分給予了很大的注意。

由於現代的山勢緊密地與大地構造相聯繫，所以現代植被也
在一定程度上“透露了”後者。當注意到年青的（阿爾卑斯式的）或
被阿爾卑斯造山運動更新過的較古老的山岳建造的時候，那麼這
種情況表現在存在植被的垂直帶性上。在具有埋藏很淺的褶皺基
底的古代準平原化山系境界內，通常在植被分布上保存著緯度-地
帶規律性，但是它們由於不同石生群落的或多或少五光十色的組
合，以及某些雖然通常表現得很不明顯的垂直帶性現象而複雜化。
類似的現象我們曾在，例如，哈薩克褶皺區、頓涅茨山等等地方觀

察到。在具有埋藏很深的褶皺基底的高起的，因而地表排水良好的地台范围内，緯度-地帶規律性表現得最好。例如在俄罗斯(东欧)平原(地台)上就是这样。相反，在現在具有低平原性质的强烈下陷的地台，例如在西部西伯利亚低地范围内，植被的緯度地帶性为植被中的水成現象(不同类型沼泽、沼泽化森林和草甸等等的广泛分布)所复杂化。

И. М. 克拉舍宁尼科夫在研究南烏拉尔、哈薩克斯坦、蒙古的某些区域的植被的时候，在自己的工作中对于植被的地貌起因的联系給予了非常多的注意(1922, 1923 及他的其它著作)。

遵循着在土壤学和地植物学范围内的 B. B. 道庫恰耶夫学派的传统的苏联地植物学家，通常都力求把植被和土壤联系起来；在这方面在苏联文献中已积累了大量的資料。然而在广大面积上觀察到的土壤-植物联系中的許多現象，仍然研究得不够。讓我們舉两个例。

在廣闊的泰加林地区(或地帶)范围内，地植物学家很早以前就十分精确地确定了从西到东針叶林組成中的差异，这种差异明显地反映在泰加林的結構上和它們的生态学状况上。这些差异很好地反映在地植物学图上。然而土壤学家到現在为止还没有考虑泰加林組成和結構上的这种重大差异——而泰加林是作为本区特征的灰化土土壤形成的基本因素之一¹⁾。

当自西向东，沿着相应的土壤地帶研究草原和荒漠植被与黑

1) 在 И. П. 格拉西莫夫主编下，有 Е. В. 洛博娃(Лобова) 参加，Н. Н. 罗佐夫(Розов) 編的，比例尺为 1:4000000 的最新的“苏联土壤图”(“高等学校教学用图”之一，1954)中，灰化土被分为下列亚类：潜育灰化土，灰化土和生草灰化土，它們由北往南，彼此更替着，形成亚地带，类似于地植物学上的北、中和南泰加林亚地带(带域)。这些亚地带从苏联的西方向东延伸到雅庫吉亞，同时在这些亚地带范围内灰化土亚类的省性差异沒有划分出来。其它的地帶性土壤——大多数 黑鈣土、全部栗鈣土、棕鈣土等等，在該图上也同样沒有划分出地方性的变体。在这方面唯一的例外是对于深厚黑鈣土和肥沃黑鈣土，它們都划分出省性变体。苏联土壤学家在进行土被区划时开始确定出省，但是，我們认为，更重要的是在土壤类型学(分类学)中区分土壤的各种地方(省的)变体。

鈣土、栗鈣土和棕鈣土的不同亚类的联系时,我发现一个非常有趣的經驗規律:越往东,越是比較“北方的”植被类型出現在这些土壤上。例如,在苏联欧洲部分南部在南方黑鈣土上看到的主要干旱羊茅-針茅草原,而在西部西伯利亚低地的南部以及在北哈薩克斯坦,适应于南方黑鈣土的已經是旱生性較小,比較北方的杂类草-羊茅-針茅草原。在哈薩克斯坦北部的暗栗鈣土上,我們見到干旱羊茅-針茅草原,而在蒙古北部,在杭爱山地,在暗栗鈣土(非碱化的)上——特殊的“山地草原”,这是更偏西的在北哈薩克斯坦适应于南方黑鈣土的杂类草-羊茅-針茅草原的类似物。在北哈薩克斯坦的棕鈣土上,觀察到北方半小灌木(蒿类和猪毛菜类)荒漠,而在蒙古在类似的土壤上我們見到荒漠(半小灌木-針茅的和半小灌木-葱类的)草原,这种荒漠草原的类似物在哈薩克斯坦是适应于淡栗鈣土。所有类似的土壤-植物“逆置”的現象都要求地植物学家和土壤学家加以特別的注意。必須查明这种逆置的原因。

当然,所有上述的一切說明,古北极地区(Палеарктика)地帶性土壤中的很大的“省性”差异,苏联土壤学家对这种差异还研究得很不够。植被的类似的省性差异很好地反映在最近的苏联植被一覽图上(參看1:4000000比例尺的“苏联地植物学图”)。

苏联植被与气候的联系直到現在研究得不够。对气候类型和联系景观和植物地理划分的地球气候区划感兴趣的地理学家[В. П. 柯本(Кеппен)、Л. С. 贝尔格、Н. Н. 伊万諾夫(Иванов)、М. И. 布迪科(Будыко)等人]以一般的形式研究过这种联系。

最近时期,在苏联气候学中发展了发生的或动态的方向(Б. П. Алисов, С. П. Хромов等人)。这个方向把基本的注意放在研究气候形成的过程上,这种气候形成过程創造了这些或那些气候类型。B. B. 索恰瓦(1948)在他的一篇非常有趣的著作中,曾經根据上述苏联气候学家,主要是Б. П. 阿里索夫的著作,考察了苏联植被与气候形成过程和气候动态类型的联系。在这种关系的研究的基础上,B. B. 索恰瓦(1948:5)提出苏联植被区划的图式,这个区划可以称为气候-地植物学的区划:“…放在首位的是植被

与气候和地表的相互关系，这种相互关系我們称为第一級的地理联系”。B. B. 索恰瓦划分出“地植物学带或(пояс)”(在苏联境内共計有三个带或：极地带或、湿润带或和干旱带或)，带分为“地植物学原(поле)”，后者本身又划分为地段(участок)和地块(массив)；除此以外，他在大而复杂的山系中确定出“地植物学結(узел)”(在苏联范围内共有三个結：高加索的、中亚的和阿尔泰的)。

在山区，关于植被垂直带性类型的問題最紧密地与山地的地方气候相联系。P. A. 叶連涅夫斯基(Еленевский, 1940)、A. Г. 多魯汉諾夫(Долуханов)和 M. Ф. 沙霍基亚(Сахокия, 1941)以及 K. B. 斯坦紐科維奇(Станюкович, 1955)关于苏联山地植被垂直带类型，O. 格列边希科夫(Гребенщиков, 1957)关于西欧东部山地的垂直带类型的著作給这些問題的研究推进了一大步。这些著作中的基本結論是：在山区，植被垂直带性的这些或那些类型最紧密地与山系的地带(地区)位置和省位置相联系，这种联系在“苏联地植物学区划”(1947)中获得了反映；B. A. 貝科夫(1957)也发表过同样的見解。

B. A. 貝科夫(1957)曾經詳細地研究过依坡向为轉移的中緯度山区植被分布的規律性。

在苏联，在气候学中也正在发展着生态学方向。这主要是表現在农业气候学上，它研究主要做为农作物和人工栽培植物群落的生长条件的气候(Г. Т. Селянинов, П. И. Колосков, С. А. Сапожникова, Ф. Ф. Давитая)。

农业气候学的著作对于地植物学家也是有很大意义的。然而很可惜，其目的在于联系自然植被研究气候，把气候做为自然植被的环境的生态气候学的地植物学分支在苏联完全沒有得到发展。在外国，許多大的地植物学家从事着一系列气候学問題的探討，并且不忘記解决植物地理学問題[在波兰有兴凱維奇，在奥地利有H. 加姆斯(Gams)，在德国有 H. 瓦尔特，在法国有安伯歇、戈山、奥布勒維尔，等等]在苏联，Г. Н. 維索茨基(1928)曾經研究过对于植物地理学很重要的某些气候学問題。气候季节动态(在許多年間)

和植被的临界气候現象(干旱、溫度的急剧波动, 等等)的研究, 以及地植物学边界、群系和群丛的分布区、各个植物种和它們的类群的分布区等等的气候学解释, 正如部分地在上面已經說过的, 对于植物地理学有着特殊的意义。

由于篇幅所限, 不能允許我們談到植被的历史研究的任务。

为了国民经济的需要而研究植被

在我們的原子时代, 植物仍然是人类生存的物质基础, 它供給人类及家畜以食物、药材、做衣服的材料、建筑材料等等。并且, 象以前一样, 人类的全部食物, 除去极少的例外, 都来源于生物。正是植物, 或者直接被人类用做食物, 或者被家畜食用, 而家畜同样在这种或那种程度上被用做人类的食物。

不論野生的或栽培的植物, 几乎永远是在群落中出現。地植物学——关于植被的科学——与其它植物学科一起, 是森林經營、草甸管理和作物栽培的生物学基础。植被是我們国家的主要自然資源。由此可以說明地植物学研究的巨大国民经济意义。

讓我們簡短地談談研究植被的实践意义的各个方面。

在研究做为木材来源和具有巨大保水和保土意义的森林时, 非常重要的是认识它們的类型, 乔木树种之間以及乔木树种与其它层(草本-小灌木层、地被层)的成分之間的相互关系, 乔木树种的更新, 特別是进行森林經營的那些乔木树种的更新, 在人类对森林的經濟影响的这种或那种形式下森林群落的演替, 等等。不研究森林群落生活的这些方面, 就不能进行森林經營; 特別是, 把森林做为植物群落和生物地理群落来进行研究, 对于制訂合理的采伐形式、护林措施等等是必要的。

当研究做为农业动物飼料来源的这些或那些植物群落的时候, 重要的是确定天然割草場和放牧場的类型、它們的組成、草群的季节性(各个植物种和整个群落发育的物候阶段)、草群生产量、基本成分, 特別是具有很大飼料意义的成分的更新, 以及对割草場

和放牧場进行这种或那种形式的割草和放牧影响下植物群落的演替,等等。特別有意义的是割草期,放牧期和載畜量(在单位面积上和在不同时期牲畜的种类成分和头数)的試驗研究。不了解自然飼料地的这些特性,就不能制訂出利用天然放牧場和割草場的合理方式,以及改良它們的方法。

甚至在不是利用整个植物群落,而只是利用群落組成中挑选出来的个别种的那种情况下,也必須研究整个群落,对这一或那一个种的开发利用不应导致它的蓄积全部耗竭。为了避免这一点,必須了解,使我們感兴趣的种在群落的結構和生活中的位置是怎样?它与其余的群落成分的相互关系如何?在这一或那一群落(群丛)的生存条件中它的更新和生活持續期怎样?等等。

把自然植被做为这些或那些环境条件的标志,或者,按 Л. Г. 拉緬斯基的話來說,做为“生长条件的尺度”来研究,也具有很大的实践意义。这点,就是在那种情况,即地域在进一步开发,植被将全部被消灭时,也是有意义的。

自然植物群落的指示特性經常被用于农业目的,特別是当打算把这一或那一生荒地域开垦做为农田时更是如此。正如已經指出过的,植物群落是最好的指示体,它不仅是环境的地位条件指标——土壤类型、土壤的机械組成、土壤的盐漬化程度、碱化程度、淋溶度、沼泽化程度、潜水水位等等的很好的指示体,而且也是生理上起作用的状况的很好指示体。由于这个原因土壤学家在保存有自然植被的地方进行土壤測量时,經常利用这些或那些植物群落在土壤图上划定土壤类型以及它們的变体之間的界綫。土壤学家事先借助于土坑确定这些或那些土壤类型与这些或那些植物群落类型(群丛或群丛組)的联系,以便以后在土壤測量时利用这些規律。例如,研究了植物群落在土壤被易溶盐类所盐漬化方面的指示特性,就可以根据植被測量編制土壤盐漬性图。

大家知道,在目前自然植被的研究也用于地质測量。經驗証明,許多植物群落(群丛)适应于在一定岩石上发育的土壤;在另一些情况下,群落成分配置的某些特殊細节說明这一或那一植物群

落对一定岩石的适应性。根据植被分布中的某些特征有时甚至可以判断地球表面的构造线。因此目前在地质航空摄影测量时，地质学家在他们的工作中可以得到地植物学家的帮助。

关于植被的资料广泛地用于制定自然(自然地理)区划，以及农业和林业区划。

研究自然和栽培植物群落对环境条件，特别是对潜水水位、空气流动等等的影响也具有很大的实践意义。例如，在设计包括灌溉在内的水利土壤改良措施时，特别在干旱区域，非常重要的是知道不同类型植物群落的总需水量，以便计算合理的灌溉定额和避免土壤的次生盐渍化。为此目的根据植物群落各个优势成分在生长期的生态-生理学研究，计算出整个群落在生长季节主要时期单位时间内单位面积的需水量。

估计植被(天然的和栽培的)和它作为卫生因素对人类居住环境的影响，特别是在居民点的绿化和建筑疗养区时，也非常重要。

最后必须指出，在创造人工或栽培植物群落——人工林、播种的割草场和放牧场以及一般的说播种和栽种任何作物时，有必要考虑一系列的植物群落学因素。

创造两个或两个以上成分的稳定的植物群落，而不考虑成分之间以及成分与环境之间的相互关系是不可想象的。

如果是同样成分的种类组成，在它们一种相互配置的情况下，可以创造不稳定的结合，而在另一种相互配置的情况下——可以创造远为比较稳定的结合。在该情况下，不仅必须考虑进入或多或少复杂的(两个至多个种)栽培植物群落的种对环境条件的一定生态要求，而且必须考虑一些成分通过环境条件对另一些成分的影响。因此，配置这些成分在人工植物群落中时必须使得能够消除或减少种与种之间为了生活条件的竞争，并且尽可能促使一些种对另一些种有利。

这就是地植物学研究对国民经济的多种多样的实践意义。

(陈昌篤译)

参 考 文 献

Аболин Р. И. 1914. Опыт эпигенологической классификации болот. Болотоведение, № 3—4.

Александрова В. Д. 1948. Учение Клементса о климаксе. Ботан. журн., т. 33, № 5.

Александрова В. Д. 1958. Проблема развития растительности в советской геоботанике. Тезисы доклада на философском семинаре. Л. (Рукопись. Ботан. инст. АН СССР).

Алехин В. В. 1935. Основные понятия и основные единицы в фитоценологии. Сов. ботаника, № 5.

Алехин В. В. 1936. Растительность СССР в ее основных зонах. В. кн.: Г. Вальтер—В. Алехин. Основы ботанической географии. Биомедгиз, М.—Л.

Алехин В. В. 1938. Классификационные схемы растительности. Сов. ботаника, № 3.

Берг Л. С. 1945. Фации, географические аспекты и географические зоны. Изв. Всесоюзн. геогр. общ., т. 77, вып. 3.

Быков Б. А. 1949. Эдификаторы растительных формаций Советского Союза. Вестн. Акад. наук КазССР, № 3.

Быков Б. А. 1957. Геоботаника. Изд. 2-е. АН КазССР, Алма-Ата.

Быков Б. А. 1958. Морфологические, экологические, географические и генетические основы классификации фитоценозов. Делегатск. съезд Всесоюзн. ботан. общ. (май 1957 г.), Тез. докл., вып. IV, Секция флоры и растительности, 2, изд. 2-е, Л.

Вернадский В. И. 1926а. Биосфера, I—II. Научн. хим.-техн. изд., Л.

Вернадский В. И. 1926б. Определение геохимической энергии однолетних цветковых растений. В: Наставление для определения геохимических постоянных, 1. Изд. АН СССР, Л.

Вернадский В. И. 1926в. О размножении организмов и его значении в механизме биосферы. Изв. Акад. наук СССР, 6 серия, т. 20, №№ 9 и 12.

Вернадский В. И. 1934. Проблемы биогеохимии. 1. Значение биогеохимии для изучения биосферы. Изд. АН СССР, Л.

Вернадский В. И. 1942. О геологических оболочках земли как планеты. Изв. Акад. наук СССР, сер. геогр. и геофиз., № 6.

Викторов С. В. 1955. Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. Изд. АН СССР, М.

Вильямс В. Р. 1922. Естественно-научные основы луговодства или луговедение. Изд. «Новая деревня», М.

Воробьев Д. В. 1953. Типы лесов Европейской части СССР. Изд. АН УССР, Инст. лесоводства, Киев.

Высоцкий Г. Н. 1915. Ергеня. Культурно-фитологический очерк. Тр. Бюро по прикл. ботан., год 8-й, № 10—11.

Высоцкий Г. Н. 1927а. Очерки о почвах и режиме грунтовых вод. Бюлл. почвоведа, №№ 1—2, 3—4, 5—8, М.

Высоцкий Г. Н. 1927б. Тезисы о почве и влаге. (Конспект и терминология). Лесоведение и лесоводство, вып. VI. Прилож. к журн. «Лесное хозяйство и лесная промышленность», Л.

Высоцкий Г. 1928. Омброзвапорометрические коррелятивы, пульсивность и диспульсивность *infratabes* и грунтовых вод. Почвоведение, № 3—4.

(Высоцкий Г. Н.) Висоцький Ю. 1929. Курс лісознавства. III. Наука про лісову пертиненцію. Додаток до журн. «Український лісовод», Харків.

Высоцкий Г. Н. 1930. Этюды по гидрологическим основам почвоведения. Бюлл. почвоведа, № 5—7, М.

Высоцкий Г. Н. 1950. Учение о влиянии леса на изменение среды его произрастания и на окружающее пространство. (Учение о лесной пертиненции). Изд. 2-е. Гослесбумиздат, М.—Л.

Гаузе Г. Ф. 1944. Некоторые проблемы химической биоценологии. Усп. совр. биол., т. 17, вып. 2.

Гейгер Р. 1931. Климат приземного слоя воздуха. Сельхозгиз, М.—Л.

Геоботанические методы при геологических исследованиях. 1955. Тр. Всесоюзн. аэрогеолог. треста Мин. геол. и охр. недр, вып. 1, М.

Геоботаническое районирование СССР. 1947. Тр. Ком. по естественно-истор. районир. СССР, т. II, вып. 2, Изд. АН СССР, М.—Л.

Гордягин А. Я. (1921) 1922. Растительность Татарской республики. В кн.: Географическое описание Тат. ССР. Часть I. Природа края. Госиздат, Казань.

Городков Б. Н. 1944. Учение о сукцессии и климаксе в геоботанике. Природа, № 3.

Городков Б. Н. 1946. Опыт классификации растительности Арктики. Сов. ботаника, №№ 1, 2.

Гребенщиков О. 1957. Вертикальная поясность растительности в горах восточной части Западной Европы. Ботан. журн., т. 42, № 6.

Докучаев В. В. 1892. Наши степи прежде и теперь. СПб.

Докучаев В. В. 1899. К учению о зонах природы. СПб.

Долуханов А. Г. и М. Ф. Сахокиа. 1941. Опыт геоботанического районирования Закавказья. Сообщ. Акад. наук ГрузССР, т. II, № 4.

Дохман Г. И. 1936. О некоторых классификационных единицах комплексов. Землеведение, т. XXXVIII, вып. 3.

Еленевский Р. А. 1936. Вопросы изучения и освоения пойм. Изд. ВАСХНИЛ, М.

Еленевский Р. А. 1940. Горные луга Евразии как ландшафтно-географическое явление. Землеведение. Сб. Моск. общ. испыт. природы. Нов. сер., т. I (XLI) М.

Ильинский А. П. 1935. Высшие таксономические единицы в геоботанике. Сов. ботаника, № 5.

Ильинский А. П. 1937. Растительность земного шара. Изд. АН СССР, М.—Л.

Исаченко Б. Л. 1939. Пурпурные серобактерии с нижних границ биосферы. В сб.: Президенту АН СССР акад. В. Л. Комарову, Изд. АН СССР.

Кац Н. Я. 1943. На пути к познанию структуры лесных фитоценозов. Ботан. журн. СССР, т. 28, № 4.

Кац Н. Я. 1957. К вопросу о взаимоотношениях между растениями. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы. Отд. биологии, т. LXII, вып. 4.

Кашкаров Д. Н. 1938. Основы экологии животных. Медгиз, М.—Л.

Келлер Б. А. 1923. Растительный мир русских степей, полупустынь и пустынь. Очерки экологические и фитосоциологические. Вып. 1. Введение. Общая часть. Тр. Гос. солонцово-мелиорат. инст., 1, Воронеж.

Келлер Б. А. 1932. Методология геоботаники в строительстве социализма. В: Программы для геоботанических исследований. Изд. АН СССР, Л.

Комаров Н. Ф. 1940. Идея развития и теория подвижного равновесия в современной геоботанике. Сов. ботаника, № 5—6.

Коржинский С. И. 1888 и 1891. Северная граница черноземностепной области восточной полосы Европейской России в ботанико-географическом и почвенном отношении, I и II. Тр. Общ. естествоиспыт. при Казанск. унив., т. 18, вып. 5; т. 22, вып. 6.

Корчагин А. А. 1946. К вопросу о принципах классификации лесных группировок. Сб. научн. работ, выполнен. в Ленинграде за три года Великой Отечеств. войны (1941—1943), Ботан. инст. АН СССР, Лениздат, Л.

Корчагин А. А. 1956. К вопросу о характере взаимоотношений растений в сообществе. В сб.: Академику В. Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения, Изд. АН СССР, М.—Л.

Крашенинников И. М. 1922. Цикл развития растительности долин степных зон Евразии. Изв. Геогр. инст., вып. 3.

Крашенинников И. М. 1923. Киргизские степи как объект ботанико-географического анализа и синтеза. Изв. Гл. ботан. сада РСФСР, т. XXII, вып. 1.

Лавренко Е. М. 1940. Степи СССР. Растительность СССР, II, Изд. АН СССР, М.—Л.

Лавренко Е. М. 1944. Очередные теоретические задачи советской гео-

ботаники. Сов. ботаника, № 4—5.

Лавренко Е. М. 1945. Значение биогеохимических работ акад. Вернадского для познания растительного покрова Земли. Природа, 5.

Лавренко Е. М. 1947. Об изучении эдификаторов растительного покрова. Сов. ботаника, № 1.

Лавренко Е. М. 1949. О фитогеосфере. Вопр. географии, сб. 15, Географгиз, М.

Лавренко Е. М. 1952. Микрокомплексность и мозаичность растительного покрова степей как результат жизнедеятельности животных и растений. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. III, Геоботаника, вып. 8.

Лавренко Е. М. 1958. Успехи и основные задачи изучения ботанической географии СССР и сопредельных стран. Изв. Акад. наук СССР, сер. биолог., № 4.

Лесков А. И. 1943. Принципы естественной системы растительных ассоциаций. Ботан. журн. СССР, т. 28, № 2.

(Липпмаа Т.) Lippmaa T. 1935. La méthode des associations unistrales et le système écologique des associations. Acta Inst. et Horti botan. Univ. Tartuensis, vol. IV, fasc. 1—2. Tartu.

Липпмаа Т. М. 1946. О синузиях. Сов. ботаника, № 3.

Мак-Дуголл В. Б. 1935. Экология растений. Учпедгиз, М.

Марков М. В. 1955. Вопрос о взаимоотношениях между растительными организмами, входящими в состав растительного сообщества. Ботан. журн., т. 40, № 2.

Марков М. В. 1958. О доминантах фитоценоза по работам советских геоботаников. Ботан. журн., т. 43, № 4.

Морозов Г. Ф. 1912. Учение о лесе. Вып. 1. Введение в биологию леса. СПб.

Морозов Г. Ф. 1949. Учение о лесе. Изд. 7-е Гослесбумиздат, М.—Л.

Ниценко А. А. 1957. Рецензия на кн.: Л. Г. Раменский, И. А. Цаценкин, О. Н. Чижиков, Н. А. Антипин. Экологическая оценка коренных угодий по растительному покрову. Ботан. журн., т. 42, № 7.

Ничипорович А. А. 1955. Световое и углеродное питание растений — фотосинтез. Изд. АН СССР, М.

Пачоский И. К. 1910. Современные задачи изучения растительного покрова. Зап. имп. Общ. сельск. хоз. Южной России, вып. 3.

Пачоский И. К. 1917. Описание растительности Херсонской губернии. II. Степи. Матер. по исслед. почв и грунтов Херсонской губ., вып. 13, Херсон.

Пачоский И. К. 1921. Основы фитосоциологии. Херсон.

(Погребняк П. С.) Pogrebnyak P. S. 1929. Über die Methodik der Standorts-Untersuchungen in Verbindung mit Waldtypen. Verh. II. Intern. Kongr. forstl. Versuchanstalten.

Поплавская Г. И. 1924. Опыт фитосоциологического анализа растительности целинной заповедной степи Аскания-Нова. Журн. Русск. ботан. общ., т. 9.

Попов Т. И. 1914. Происхождение и развитие основных кустов в пределах Воронежской губ. (Геоботанический очерк). Тр. Докучаевск. почвен. комитета, вып. 2, Пгр.

Прозоровский А. В. 1936. Причины горизонтальной зональности растительного покрова. (В порядке обсуждения). Сов. ботаника, № 1.

Работнов Т. А. 1950а. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии. В сб.: Проблемы ботаники, Изд. АН СССР, М.—Л.

Работнов Т. А. 1950б. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. III, Геоботаника, вып. 6.

Работнов Т. А. 1958. К методике составления экологических шкал. Ботан. журн., т. 43, № 4.

Раменский Л. Г. 1925. Основные закономерности растительного покрова и их изучение. Вестн. опытн. дела (за 1924 г.), Воронеж.

Раменский Л. Г. 1937. Учет и описание растительности (на основе проективного метода). Изд. Всесоюзн. акад. с.-х. наук, М.

Раменский Л. Г. 1938. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. Сельхозгиз, М.

Раменский Л. Г. 1952. О некоторых принципиальных положениях современной геоботаники. Ботан. журн., т. 37, № 2.

Раменский Л. Г., И. А. Цаценкин, О. Н. Чижиков, Н. А. Антипов. 1956. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. Сельхозгиз, М.

Роде А. А. 1955. Почвоведение. Гослесбумиздат, М.—Л.

Соколов С. Я. 1937, 1938. Успехи советской лесной геоботаники. Сов. ботаника, № 6 (1937), № 1 (1938).

Соколов С. Я. 1947. Фитоценотические типы. Докл. Акад. наук СССР, Нов. сер., LV, № 2.

Соколов С. Я. 1956. Типы борьбы за существование среди растений. В сб.: Академику В. Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения, Изд. АН СССР, М.—Л.

Сочава В. Б. 1930. Пределы лесов в горах Ляпинского Урала. Тр. Ботан. музея АН СССР, вып. 28.

Сочава В. Б. 1944. Опыт филоценогенетической систематики растительных ассоциаций. Сов. ботаника, № 1.

Сочава В. Б. 1945. Фратрии растительных формаций СССР и их филоценогенетия. Докл. Акад. наук СССР, т. 45, № 1.

Сочава В. Б. 1948. Географические связи растительного покрова на территории СССР. Уч. зап. Ленингр. гос. педагог. инст. им. А. И. Герцена, т. 73.

Сочава В. Б. 1958. Главнейшие достижения в области картографии растительности СССР за 40 лет. Изв. Всесоюзн. геогр. общ., т. 90, вып. 2.

Станюкович К. В. 1955. Основные типы поясности в горах СССР. Изв. Всесоюзн. геогр. общ., т. 87, вып. 3.

Сукачев В. Н. 1928. Растительные сообщества. (Введение в фитосоциологию). 4-е изд., Изд. «Книга», Л.—М.

Сукачев В. Н. 1938. Главнейшие понятия из учения о растительном покрове. Растительность СССР, I, Изд. АН СССР, М.—Л.

Сукачев В. Н. 1942. Идея развития в фитоценологии. Сов. ботаника, № 1—3.

Сукачев В. Н. 1944. О принципах генетической классификации в биоценологии. Журн. общ. биол., т. V, вып. 4.

Сукачев В. Н. 1945. Биогеоценология и фитоценология. Докл. Акад. наук СССР, т. XLVII, № 6.

Сукачев В. Н. 1947. Основы теории биогеоценологии. В сб.: Юбилейный сборник, посвященный 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, ч. 2, Изд. АН СССР, М.—Л.

Сукачев В. Н. 1950. О некоторых основных вопросах фитоценологии. В сб.: Проблемы ботаники, I, Изд. АН СССР, М.—Л.

Сукачев В. Н. 1954. Некоторые общие теоретические вопросы фитоценологии. В сб.: Вопросы ботаники, I, Изд. АН СССР, М.—Л.

Сукачев В. Н. 1956. О некоторых современных проблемах изучения растительного покрова. Ботан. журн., т. 41, № 4.

Сукачев В. Н. 1957. Общие принципы и программа изучения типов леса. В сб.: Методические указания к изучению типов леса, Изд. АН СССР, М.

Тимофеев-Ресовский Н. В. 1958. Микроэволюция. Элементарные явления, материал и факторы микроэволюционного процесса. Ботан. журн., т. 43, № 3.

Титов И. А. 1934. Последствия жизнедеятельности растительных сообществ. Сельхозгиз, М.

Титов И. А. 1952. Взаимодействие растительных сообществ и условий среды. Проблема развития георастительных систем. Изд. «Советская наука», М.

Чернобриженко С. И. 1956. Биологическая роль растительных выделений и межвидовые взаимоотношения в смешанных посевах. Изд. «Советская наука», М.

Шенников А. П. 1929. О конвергенции среди растительных ассоциаций. Сб.: Очерки по фитосоциологии и фитогеографии, Сельхозгиз, М.

Шенников А. П. 1937. Теоретическая геоботаника за последние 20 лет, Сов. ботаника, № 5.

Шенников А. П. 1938а. Дарвинизм и фитоценология. Сов. ботаника,

№ 3.

Шенников А. П. 19386. Луговая растительность СССР. Растительность СССР, I, Изд. АН СССР, М.—Л.

Шенников А. П. 1942. Природные факторы распределения растений в экспериментальном освещении. Журн. общ. биол., т. III, вып. 5—6.

Шенников А. П. 1956. Заметки о методике классификации растительности по Браун-Бланке. Сб.: Академику В. Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения, Изд. АН СССР, М.—Л.

Шенников А. П. 1958. О некоторых спорных вопросах классификации растительности. Ботан. журн., т. 43, № 8.

Ярошенко П. Д. 1953. Основы учения о растительном покрове. 2-е изд. Географгиз, М.

Billings W. D. 1957. Physiological ecology. Ann. Rev. Plant Physiol., vol. 8.

Braun-Blanquet J. 1951. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 2. Aufl. Wien.

Braun-Blanquet J. 1955. Zur Systematik der Pflanzengesellschaften. Mitt. Floristisch-sociologischen Arbeitsgemeinschaft, N. F., Bd. 5. Stolzenau (Weser).

Braun-Blanquet J., J. Pavillard. 1922. Vocabulaire de sociologie végétale. Montpellier.

Clements F. E. 1916. Plant succession. Carnegie Inst. Washington.

Clements F. E. 1928. Plant succession and indicators. New York.

Clements F. E. 1936. Nature and structure of the climax. Journ. Ecology, vol. XXIV, № 1.

Clements F. E. 1949. Dynamics of vegetation. New York.

Du-Rietz G. E. 1930. Vegetationsforschung auf soziationsanalytischer Grundlage. Handb. d. biol. Arbeitsmeth., Abt. XI, Teil 5, H. 2. Berlin.

Du-Rietz G. E. 1931. Life-forms of terrestrial flowering plants. Acta phytogeogr. suecica, III, 1.

Ellenberg H. 1952. Landwirtschaftliche Pflanzensociologie. Bd. II. Wiesen und Weiden und ihre standörtliche Bewertung. Ludwigsburg.

Ellenberg H. 1956. Angaben und Methoden der Vegetationskunde. In: H. Walter. Einführung in die Phytologie, Bd. IV, Teil 1. Stuttgart.

Gams H. 1918. Prinzipienfragen der Vegetationsforschung. Ein Beitrag zur Begriffsklärung und Methodik der Biocenologie. Vierteljahrsschr. d. Naturforsch. Ges. in Zürich, Bd. LXIII.

Grümmer G. 1955. Die gegenseitige Beeinflussung höherer Pflanzen—Allelopathie. Jena.

(Grümmer G.) Грюммер Г. 1957. Взаимное влияние высших растений—

аллелопатия. Изд. иностр. лит., М.

Schmid E. 1957. Ein Vergleich der Wuchsformen im illyrischen Buchen- und Laubmischwald. Ber. über das Geobotan. Forschungsinstitut. Rübel in Zürich f. d. Jahr 1956. Zürich.

Suess E. 1875. Die Entstehung der Alpen. Wien.

Tansley A. G. 1939. British ecology during the past quartercentury: the plant community and the ecosystem. Journ. Ecology, vol. 27, № 2.

Tansley A. G. 1946. Introduction to plant ecology. A guide for beginners in the study of plant communities. London.

Walter H. 1951. Standortslehre (analytisch-ökologische Geobotanik). Stuttgart.

Walter H. 1954. Klimax und zonale Vegetation. Angewandte Pflanzsociologie, Festschrift Aichinger, Bd. 1.

Walter H. 1955. Die Klimagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaftliche Zwecke. Ber. Deutsch. botan. Ces., Bd. LXVIII, H. 8.

植物群落自然条件的研究

地植物学研究时的地貌观察

H. H. 索科洛夫(СОКОЛОВ)

(苏联科学院航空方法研究室)

引言

在影响植被性质的各种自然因素中, 地形占有很重要的地位。但它对植被的影响不是直接的, 而是间接的。这表现在: 地形的变化引起其它自然因素, 例如气候、土壤和水文条件等的变化, 这些因素对植被的影响便是直接的了。因此, 认识地貌条件对地植物学家有重大的意义。

依地形要素的大小以及一般的、地带性的和地理的条件的不同, 上述变化可能具有不同的规模和性质。在大地形条件下, 例如在山地, 大地形要素的迅速更替也引起植被性质的颇大改变, 表现为垂直带性(地带性), 也就是说在不同高度上形成不同的植物垂直带。如果是中地形, 例如在被河谷切割的平原上, 可看到不同地形要素上植被有很大的差异。例如, 草原地带分水界的草原群系沿河谷常常为森林所代替。小地形——碟形地、小壠崗、圆丘、浅凹地等也有非常重要的意义。虽然这类地形形态的影响在所有地理纬度上都有表现, 但它们影响植被的性质和程度在不同地带, 例如在泰加林或干草原地带, 强烈地改变着。

从上述可清楚看出, 在地植物学研究时, 必须研究存在于植被和地形要素之间的多种多样的依赖形式。必须查明植被按地形分布的规律性, 研究不同地形要素的植被, 而在植被相似的情况下,

确定它的地方性特征。同时，必須觀察植被对地形的形成和变化的影响：觀察植被参加河漫滩上自然堤的形成，觀察林带对减弱土壤表面侵蝕和延緩冲沟发育的影响，觀察当泥炭沼泽发育时河間地面的升高等等。在研究微地形要素时，地植物学觀察尤其有益，因为，常常只有根据群丛的更替（例如小的草原碟形地等等）才能阐明微地形要素。

关于进行野外地貌觀察的一般說明

在出发到野外之前，就应根据現有的地貌資料和地质資料，并借助于地图，开始了解研究地域的地貌条件。这时，除了专门地图（地貌、地质的）外，还必須研究較詳細而准确地反映地形的尽可能較大比例尺的地形图（1:100,000 以上）。特別重要的是航空摄影資料（照片，略图，平面图），它們提供出地方（местность）和地形的清晰图景。根据这些資料还可以在出发去野外之前，描繪出主要地形要素以及地形和不同植物群落的联系。同时，根据航空照片可以判断一般景觀条件，因而，也可以判断地形对植被的間接影响，例如通过地面岩石和土壤的更替（图 1 和图 2）。当同一个地域具有在不同年份获得的航空照片时，可以判断地形的某些迅速的改变，特別是在形成冲沟，河漫滩和基岸侵蝕、沙地吹揚等等情况下，侵蝕和风蝕过程所造成的变化（图 3 和图 4）。地形的这些变化伴随着植被的破坏。

在野外調查时，通常开始时应稀疏地穿过被研究的地方跑几条勘察路綫，而如果有可能，则应进行航空目視觀測。在后一种情况下，得以用眼扫視一下全部地方并在其上看到在地面調查时往往难于发现的許多細节和特征。如果研究面积很大，航空目測还必須按照一定的計劃，即按穿过主要地形要素（河谷，分水界）的断面进行，并且順着各要素进行——以便查明沿它們的“走向”的变化。在这种情况下作斜交相片是非常有用的。所得到的結果不仅必須登記在日記簿上，而且也必須在地形图上标出。同时，應該判



图 1 苏多姆高地(普斯科夫州)具有湖泊的壠崗-丘状冰川地形(苏联科学院航空方法研究室的航空照片)

讀已有的航空照片，也就是在照片上確定地形特徵以及與地形相聯繫的景觀要素和植被要素。

由於從空中觀察的結果，研究者調查獲得關於該地方的完整的概念，這樣就有可能準確地規定地面上的路線和必須進行較詳細研究和進行大比例尺制圖的典型地段。最後，根據航空目測，可以編繪出當地的地貌概略圖。例如，在草原，就可在地圖上分出河谷、寬階地、分水界、大干溝等等。

如果不可能進行航空目測，那麼就作地面路線調查(用汽車比較方便)。

象航空目測一樣，地面路線也應該這樣決定，使得能夠獲得關於研究地域地形的基本特點和在不同部分它們的變化的概念。地



图 2 北哈萨克斯坦平原上的碟形地地形。在碟形地中可看到桦树丛林和环绕着沼泽和盐土的林带 (苏联科学院航空方法研究室的航空照片)

形的分析从早先研究得較好的地段开始要比較方便。路綫网的密度既依賴于研究本身的詳細程度,又依賴地形的性质。因此,路綫的密度决定于地形形态的或多或少复杂性和多样性程度。應該认为,中比例尺 (1:100000—1:200000) 或大比例尺 (1:25000—1:50000)是最通行的比例尺。如果是一致的平緩的地形,根据研究的詳細程度,設置几条稀疏的断面路綫(有时每隔几十公里)已够;在不一致的,“变化多端”的地形的情况下,除了距离相隔較近的一些横断面之外,还要作纵向路綫調查,例如沿河谷和分水界。

在平原地区,在最后一次冰川作用带的丘陵-湖泊高地上观察



图 3 由疏松的赫瓦伦岩石組成的年青隆起上的 新月形沙丘地形。土庫曼东南部的滨里海低地(苏联科学院航空方法研究室的航空照片)

到最多种多样的,不一致的地形;至于山区,那么最复杂的地形是强烈切割的古老山地(如象烏拉尔)的特征。在考慮微地形(对地植物学家來說这是完全必要的)时,在不同的地理地带和地区,都可看到复杂的地表。

不言而喻,对地形的比較詳細的觀察,必須在設置在水准測

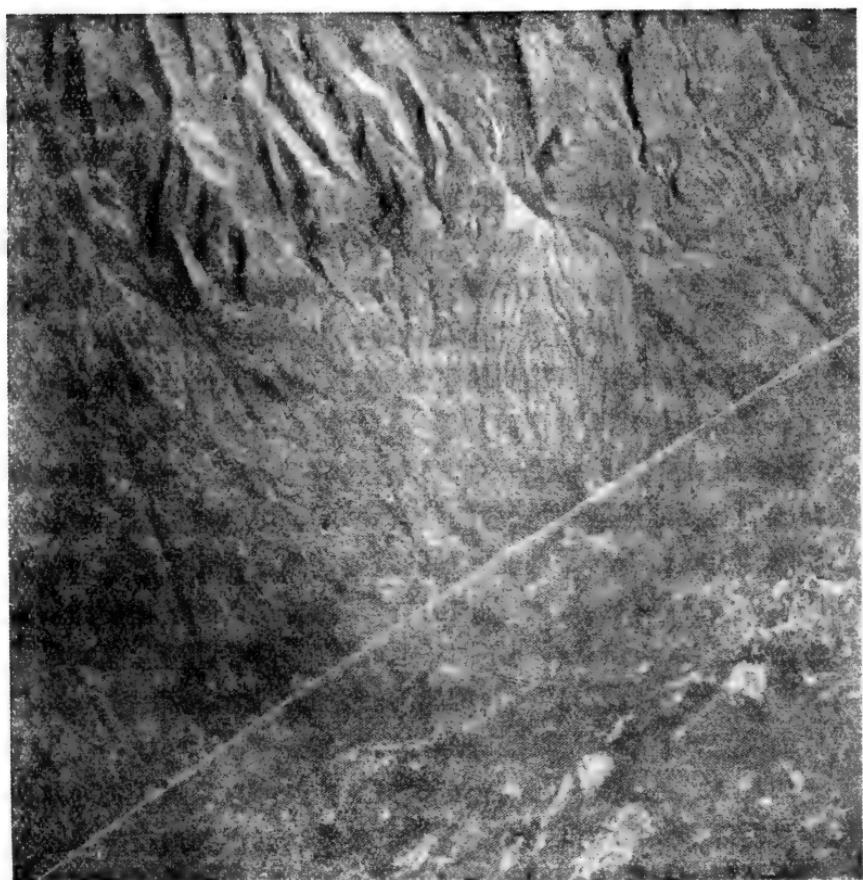


图 4 土庫曼西部大巴尔汉山的南坡 (照片上部); 古第四紀的洪积裙(坡麓); 白綫是公路; 具龟裂土白色斑点的里海赫瓦伦阶地(照片的右下角); 流入烏茲博伊古谷的冲沟 (苏联科学院航空方法研究室的航空照片)

量剖面上的地植物剖面上进行; 这样使我們有可能准确地确定植物群落与地形要素的一定联系。在这样的剖面上不仅可以清楚地表示地面的較大的輪廓,而且也可以表示微地形(碟形地,圓丘,小长丘等)。如果沒有专门的水准測量,就必须根据精确的地形图尝试制作剖面,还要借助于測斜仪和罗盘仪上的鉛垂亲自測定相对高度、斜坡坡度等。

在断面路綫的密度很大的情况下,特别是在山地,结合几条断

面編制水準剖面很有好处。在这种情况下，清楚地表現出地表最发育的特点，但“例外的”地形要素則不能包括进去。

路綫調查时，应在图上标出最重要的地形特点（当然要考慮到比例尺，研究的詳細程度），因为植物群落的更替通常也是与这些地形特点相一致：例如河流和湖泊阶地，基岸，分水界的斜坡，残丘，干沟等。以这种方式可以編制野外地貌图；在这种情况下，如上所述，除了地形图、剖面和亲自的觀察以外，还可利用航空測量資料，借助于这种資料可以最准确地标出不同地形要素的界綫。已經說过，这时最好拥有事先編制的地貌概略图，而且图上有根据航空照片划出的基本地形要素界綫。

无论在上述的路綫調查中，或者在典型地段——进行詳細觀察和編制詳細地貌图的“索引地段”（ключ），都应进行地形的研究；地貌图和土壤图一起是地植物图的重要基础。在定位研究的情况下應該特別詳細地研究地形。在这一切場合下，除了編制詳細的地貌图以外，还必須闡明在不同季节的地貌过程的进程，同时尽可能配合一些必要的測量，例如測冲沟的发展，土壤的冲刷，喀斯特地形的发育，河漫滩地形的变化等等。

如果当地地形原先已有很好的描述，就可以只限于根据地植物学目的的需要的程度补充細节和訂正資料（例如，在微地形方面），当缺乏地貌图或現有图的比例尺太小时，則編制地貌图。必須記住，在比較詳細的研究中，得以发现許多在粗放工作中所不能考慮到的地形特性。

当研究地域的地貌資料缺乏或不足时，地植物学家不能不自己查明地形的許多特性，从它的基本要素开始。在这种情况下，必須借助于地形图和航空照片，首先記載各个形态（форм）的外部特点（輪廓），尽可能較准确地指出它們的大小（高度，长度，寬度），分布情况和对于較大要素（河谷，分水界，低地和高地）的适应性，以及較小形态（碟形地，浅凹地，圓丘等）的密度和頻度。

描述地形形态时，应指出它們的結構，也就是地表和深处的岩石。为此，利用深的土壤剖面，河、溪两岸及冲沟两斜坡的露头和

人工剖面(凹槽,采石場,青貯窖)以及钻探資料等等是很重要的。應該記住,只有知道了地形形态的結構,才有可能判断它們的成因;在描述地形时仅仅根据外部地形特点,常常会获得关于地形的不正确的概念,因为不同成因和发育的形态常常具有同样的外形。例如,外形和大小相似的壠崗可能是冰川作用的結果而产生,也可能是在侵蝕或风化过程的影响下而产生。例如在卡累利阿可以觀察到冰川成因的窄壠崗,就形态和大小而言与古代的冰期前壠崗(主要是在古代侵蝕和风化过程的影响下产生)非常相似。当研究这些或那些壠崗的結構时,就很容易发现它們的差別:第一种由具漂砾的砾石-卵石沉积物組成,第二种是由結晶岩組成。

同时,为了认识当地的地形特性以及不同形态的发生和发展,对个别形式或在大地形的不同小地段进行片断的觀察是不够的。需要研究在发生上彼此有联系的地表要素的全部总体,追溯在大面积(大距离)上的地表大的特点(大谷地、分水界等)。只有这样,才能获得关于整个形态綜合体(景观)的特点的概念,由此也可以理解各个形态的成因。例如,研究河谷时,必須在大小和結構上显然不同的地段觀察河谷的不同要素(阶地,河岸)。在丘陵地段研究冰川形态时,不仅需要查明各个丘陵的特性,而且也需要查明它們全部总体的特性。此外,在这种情况下必須对比具有丘状、波状和平緩地表的相邻的各种各样地段的地貌条件,因为这里在冰川时期曾經发生过有賴于冰川或冰川水的不同的过程,其結果,举例來說,在冰川边缘形成丘陵-湖泊地段,由冰流造成的冰水平原,在冰川水体的地方形成平緩的平原。

对比大河河谷的各级阶地,使我們有可能作出关于河流堆积作用的变化的結論,这种結論由不同阶地上冲积物的不同組成、阶地的寬度和冲积层的厚度得到証明。同时,从年青阶地过渡到古阶地时,可以觀察到它們的逐漸夷平的情况:在河漫滩阶地上数量很多的旧河床在第Ⅰ級超河漫滩阶地上已經比較不明显,在比較老的高阶地上則完全不易觉察了。在另外的情况下,在河谷剖面的大大加寬处可以看到湖相的沉积(粘土,壤土),使我們能够判

断产生这一地段的阶地时原来的湖泊过程。常常可以确定河谷的加宽和缩小与疏松基岩和致密基岩的更替的联系：在易于冲刷的疏松岩石中，侧蚀表现得比较强烈，这引起河谷的加宽，而在致密的岩石中通常产生狭窄的峡谷状河谷。

最简单的地形条件通常在草原和森林草原低地中观察到，那里平缓的分水界与结构单调的谷地相交替，例如，象在中俄罗斯高地以西的德聶伯河低地和以东的奥卡河-顿河低地。这里有有着不对称的河谷，一面是基岸直接屹立于河上，另一面则从河漫滩阶地开始，分布着一系列颇为宽阔的阶地，然而，就是在这里，在比较仔细地观察时，也可看到数量很多的微地形和中地形形态，它们以旧河床和碟形地的形式出现在河漫滩和第一级超河漫滩阶地上，以河川沙丘和特别是大量洼地、小长丘(потяжина)和小圆丘等形式出现在古阶地和分水界上。

在野外调查时，航空测量资料有很大的帮助，特别是在难以到达的地方（冻原，高山）和森林掩蔽之下地形形态表现微弱的平原地方。航空照片，使我们有可能甚至根据稀疏的调查路线，也可通过相似地形要素的分析来判断颇大地域的地形。

查明地形形态的发生和发展特性常常是一项复杂的任务，这不仅是因为这些形态的结构并不是已经十分清楚（由于自然的和人工的剖面，特别是钻孔，的数量不多），而且还因为它们是在不同过程的，有时是在长期的作用下所发生的；应该认为这样的形态是异质的(гетерогенный)和异时的(гетерохронный)。这样的情况较常出现在古老的山地，例如乌拉尔和表面被强烈切割的卡累利。这里可以观察到冰川的和冰水的形态叠加在古老的，冰前的侵蚀成因的形态上；可是，后者同样在冰川时期的过程的影响下曾经经受了某种改变。不是在现代过程的作用下，而是在过去起作用的过程（例如冰川过程）的作用下产生的形态的成因也很难认识；在这种情况下，只有提出假说。大平原河流的河谷在很大程度上也是如此；这种还在冰川时期以前就已产生的河谷，经受过冰川和冰水的作用，以及最近的侵蚀过程的作用。

还必须指出形态的次生改变,例如,象在冰川堆积和丘陵的泥流作用的影响下发生的冲刷和下切,河谷的被泥沙淤塞,谷坡和阶地被支流、干沟、冲沟所切割等等。

除了剥蚀过程以外,常常还必须考虑最新内营力(造陆运动和构造运动)的影响,这在山区特别明显。地壳上升不但使整个地方升高,而且也使河谷重新下切,因而河谷在这里具有峡谷的性质;在狭窄的峡谷中只保留着高阶地的悬崖。同时,关于上述现象只

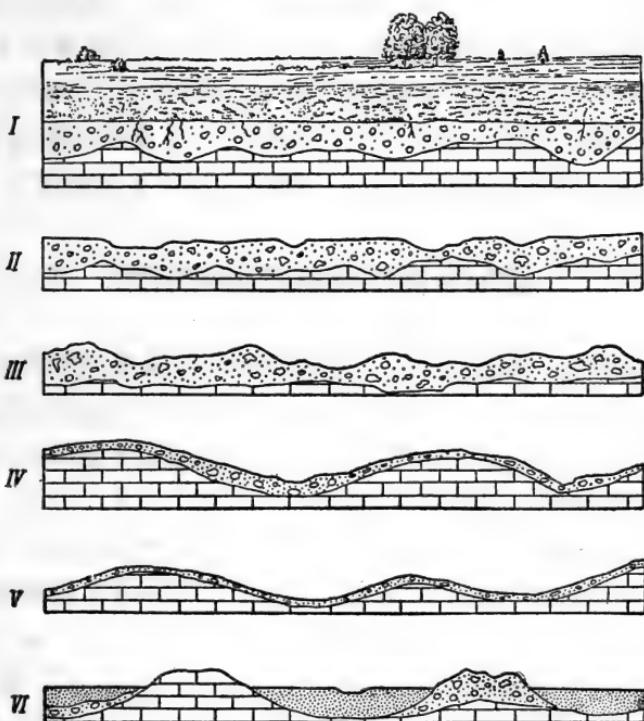


图 5 表示基岩和冰川沉积物之间的不同关系的剖面图
(根据 Lobeck, 1939)

I——底碛冰川沉积物的平坦地形,没有侵蚀过程的特征;
II——受到侵蚀过程的影响的底碛冰川沉积物地形; III——没有侵蚀形态特征的丘陵-冰碛物地形; IV——制约于基岩面的地形;冰川沉积物已稍有侵蚀; V——制约于基岩面的地形,具薄层冰川沉积物; VI——制约于基岩面与冰川沉积物之间的不同关系的地形,示冲积物所填塞的低地。

能根据研究該地貌区域地形的一般特性，加以判断。

当闡明地形形态的特性时，也可认识曾经参加过地形的形成和发展的内力过程或外力过程的各种不同的类型。同时，必须考虑依地形形成过程强度和地质构造特性为转移的形态发育性质和速度(图5)。例如，在气候足够湿润的条件下，如果有颇大的地表迳流，特别是如果地表有明显的倾斜(这时流水的侵蚀力显著增长)侵蚀过程就强烈地进行。这样的现象首先是在第三纪末和在第四纪曾大量隆起(几千米)的高山地区观察到。过程的持续时间也具有意义。长时期的隆升导致大山的形成；剥蚀过程(侵蚀过程，风化等)的长期作用致使较古老的山破坏成为平坦地形；在这种条件下，就是微不足道的现代的高地也是与最新的隆起相联系，这种最新隆起使山地毁坏后的平坦地面破坏“返老还童”。

低地和高地侵蚀地形的研究

侵蚀过程，风化过程以及其它剥蚀过程的巨大能力引起地表的切割，特别在山地更为明显。如前面所述，侵蚀地形的最简单的情况可以在低地(例如黑海沿岸低地)观察到，那里在平行的河谷之间分布着轻微切割的分水界。

在河流网和河谷以及干沟(包括在另外地理条件下产生的“半死半活”的河谷和死河谷)系统大量发育的情况下，根据与主谷和分水界的关系可以区分出好几级河谷和分水界。最后结果是在“完整的”、未切割的分水界上形成大量的窄长丘和脊以及个别的残峰。这特别是古老的、在最近时期部分还童了的山地所特有的现象。在平原，高地(例如伏尔加河沿岸高地，中俄罗斯高地以及外伏尔加河高地范围内)，也可以观察到类似的现象。

如前所述，在侵蚀地形的最简单的情况下，研究它们并不复杂，并且可以借助于横剖面来实现。如果是较复杂的侵蚀地形，例如在上述的高地上，那么进行地貌观察就较困难。这里，大比例尺地形图可以提供不可估价的帮助。在这种情况下航空照片更是

特別有用。当利用尽可能詳細的地形图时，在地貌图上可以表示出河谷、干沟和它們之間的分水界的复杂系統，以及在分水界被强烈切割之后产生的个别壠崗、残峰。为了查明在最近时期地形的变化，大約 100 年前为許多州所編制的三俄里比例尺地图很有用处，在这些图上地形非常准确地，并且借助于細线条表示出来。

研究侵蝕形态时应注意基本地形要素和伴随它們的比較小的地表特点，以及組成它們的沉积物：河谷中的河流阶地，不同結構和性质的分水界。

如果横越具有大河谷的低地，进而通过邻近的高地而达分水界的軸部，那么，通常可以觀察到下列地形要素：

1. 在低水位和平水位时出露的、由沙子組成的河流浅滩。
2. 在近河床部分具有現代自然堤和古自然堤的河漫滩，有时在河漫滩中間也具有堤間低洼地；有时自然堤上有沙丘和沙质小圆丘（具有被吹揚来的沙子），河漫滩中間分布有具湖泊和沼泽的河床状低洼地——牛轭湖。随着地形形态的更替和离河床較远，地表沉积物的組成也发生改变，这种沉积物同样也依河流的状况而变化。离河較远自然堤上的沙子常常为沙壤土和壤土所代替。較大的河流把沙（以及沙壤）物质沉积在河漫滩上，小河所沉积的則主要是粉砂，壤质冲积物。壤质沉积是在湖泊地点产生的河漫滩的湖状加寬处的特点。在河漫滩的剖面中可以觀察到沙土沉积（河床相）被壤质沉积和沾土沉积（河漫滩相和牛轭湖相）代替（自

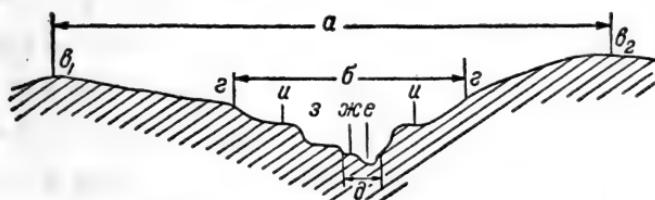


图 6 河谷的形态结构(根据“旅行家和地志家指南”，第二卷，1950 年)

a——河流盆地的宽度； б——河谷的宽度； B₁——尖突分水界；
 B₂——平緩分水界； г——谷緣（折叠点）； д——谷地河漫滩部分的
 宽度； е——河床； ж——河漫滩阶地； з——第Ⅰ級超河漫滩阶
 地； и——第Ⅱ級超河漫滩阶地。

下而上)的情况。河漫滩地形的一切变化,一直到最微小的形态(低矮小长丘,细小的碟形地和洼地),都可明显反映在植被的更替上,这既与河漫滩地形不同要素上潜水水位的明显变化相联系,也与地表沉积物性质的更替相联系(图6—9)。

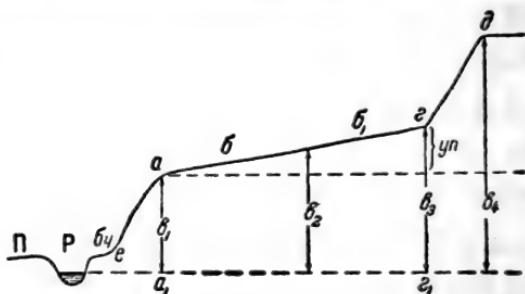


图 7 河流阶地的形态(根据“旅行家和地志家指南”,第二卷,1950年)
 p——河床; бч——驿路; II——河漫滩; a——谷緣或超河漫滩
 阶地的外緣; д——同上,另一級較高的阶地; аг——阶地表面;
 г——超河漫滩阶地的后緣或內緣; ea 和 гд——阶地坡面或陡崖;
 a₁—g₁——阶地宽度; ab——阶地表面的前部; б₁г——阶地表面的中
 部; б₁г——阶地表面的后部; B₁——阶地的最小高度; B₂——阶地
 的中等高度; B₃——阶地的最大高度; уп——阶地表面的比降
 (уп=B₃-B₁); B₄——較高一级超河漫滩阶地的高度。

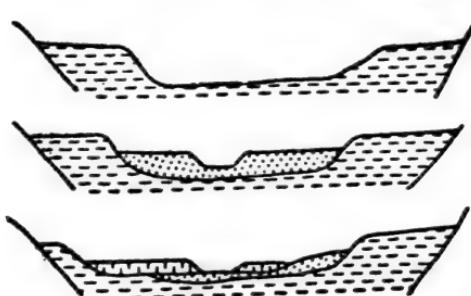


图 8 下切阶地图式(根据 Мартонн, 1945)
 在許多方面还与河漫滩地形相似: 自然堤、牛轭湖表現得很明
 显¹⁾。較高阶地的表面通常比較平緩,均匀,这里常常在表面覆盖

3. 超河漫滩阶地。

这里,从低阶地到較高阶地,可以觀察到河漫滩成因的原生形态的逐渐消失和地表沉积物組成的变化。在第一級超河漫滩阶地上,特别是在它的相对高度很小的情况下,地形

1) 常常第1級超河漫滩阶地很难与高河漫滩分开,虽然实际上它们之間存在重大的差別,在超河漫滩阶地上发育了土壤,这說明了它的形成过程的結束。只有当河流状况改变(例如在森林大量砍伐之后)时,超河漫滩阶地有时才开始被淹没,同时土壤被新的冲积层覆盖起来。

着一层类黃土沉积物。超河漫滩阶地常常由砂子，主要是細小的砂子組成；这些沙在局部地方被吹揚成沙丘和圓丘，这些形成物一部分是古代的，滋生着植被；一部分是現代的，分布在裸露的地段。草原河流的高阶地則被类黃土壤土和黃土所覆盖。具陡坡的高阶地其边缘常常为冲沟和干沟所切割。

上面也有个别残丘突起，它們是在基岩或較高阶地被冲刷的情况下形成的。然而，就是在高阶地上也有古自然堤和牛轭湖河床的残存；后者充满着湖泊和沼泽。

4. 基岸。根据高度，坡度和依其结构及对河流和阶地的位置关系的切割情况，可以把基岸明显地区分出来。河上的陡岸通常受到淘刷，并常常因滑坡和崩塌而复杂化；滑坡常形成局部的阶地陡坡。这类河岸的外形也决定于組成岩石的性质。邻近高阶地的基岸以小的相对高度和保守性为特征，因为它很早就摆脱了河流(和河流泛滥)作用的范围。在这里，只可以观察到干沟和冲沟的切割，在其它条件相等的情况下，这种干沟和冲沟的切割在比較高的岸以及疏松的类黃土的和砂质的岩石要强烈得多(图 10)。同时在基岸上通常覆盖着一层第四紀沉积物套——或者是被覆壤土(在冰川作用前期的带)，或者是类黃土壤土和黃土[在低地沼泽林带(полесье)以南]。

低地的分水界被旁谷、干沟和冲沟所切割。这里局部地方的

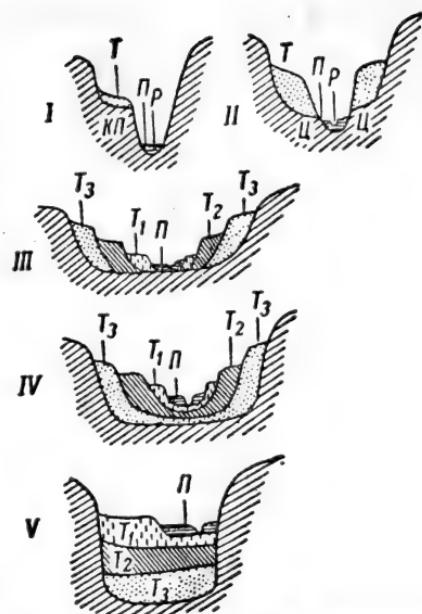


图 9 河流阶地的类型 (根据“旅行家和地志家指南”，第二卷，1950年)

I——侵蝕阶地， II——基底阶地或侵蝕-堆积阶地； III——順倚堆积阶地； IV——堆积嵌入阶地， V——堆积埋藏阶地。 P——河床； П——河漫滩； T₁—T₃——超河漫滩阶地或相应阶地的冲积层； KП——基岩的基底； KП——基岩。

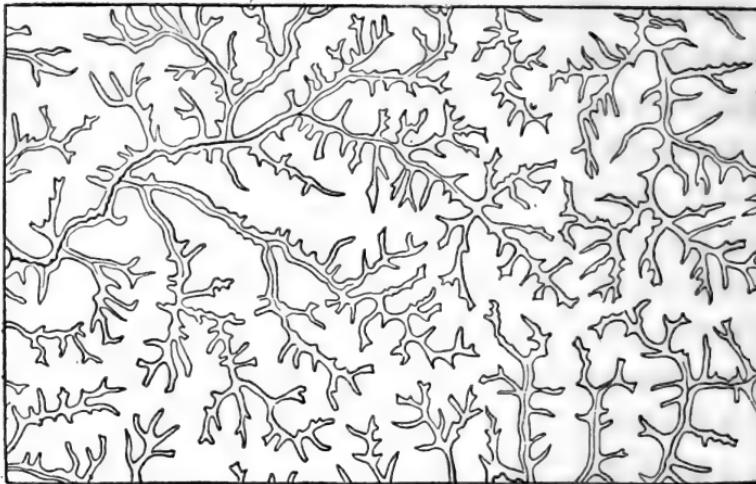


图 10 中俄罗斯高地的冲沟-干沟网(根据Карандеева, 1957)

第二級分水界通常是平坦的，有大量的洼地——从小的碟形地到干沟頂的寬闊盆地。所有这些地形要素都明显地表現在植被的变化上，首先是由于地表湿润和潜水情况的差异。苏联欧洲部分南部低地的表面通常是較厚的类黃土壤土和黃土組成；这里的大河（頓河，沃罗涅日河，茨納河等）沿岸分布着沙带，寬达数十公里。

从低地走到高地时，必須追溯这些相邻地貌地区(或区)之間的过渡性质。在一些情况下，高地以陡坡为界，陡坡下面就是河流的基岸，河流沿高地的边缘流过，例如，伏尔加河右岸就是滨伏尔加高地。在另一些情况下，高地逐渐过渡到低地，它的平緩的斜坡下部与低地面相融合，例如滨伏尔加高地的西緣。

这种不对称現象不仅表現在斜坡的坡度上，而且也表現在它們的結構和切割現象方面。較陡的坡被河谷和冲沟强烈切割，而緩斜坡則切割微弱。前者由基岩組成，上面覆盖着一层不同厚度的坡积壤土；这里局部地方基岩也突出于地表之上，它們的残积物在致密岩石上常常是粗的，碎石性质。在緩斜的坡面上通常复盖着厚层类黃土壤土，这里的基岩埋藏很深，只在較深河谷两岸才突露。

因此，可以根据在高地上的位置，区分出二級谷地和分水界的

地形和结构。在陡坡上基岩(石灰岩, 砂岩, 致密粘土等)具有比較急变的形态; 这里常常有短而窄的峡谷形河谷, 阶地很不明显, 分水界狭窄突起。在高地的緩斜坡上, 河谷和分水界都較短坡上的长; 它們也比較寬并且具有不太急变的輪廓。河谷中較寬的阶地由沙质和壤土冲积物組成; 河谷本身通常不很深。分水界常常具有平坦的, 切割較少的表面, 沿高地坡面主要向下傾斜。

可見, 在河谷的深度和密度与分水界的宽度之間存在着直接的联系: 深谷与較密的河谷系統相适应, 那里以狭窄的分水界占优势; 相反, 在河流网較稀的情况下, 則河谷浅, 这里的分水界較寬和較平坦。

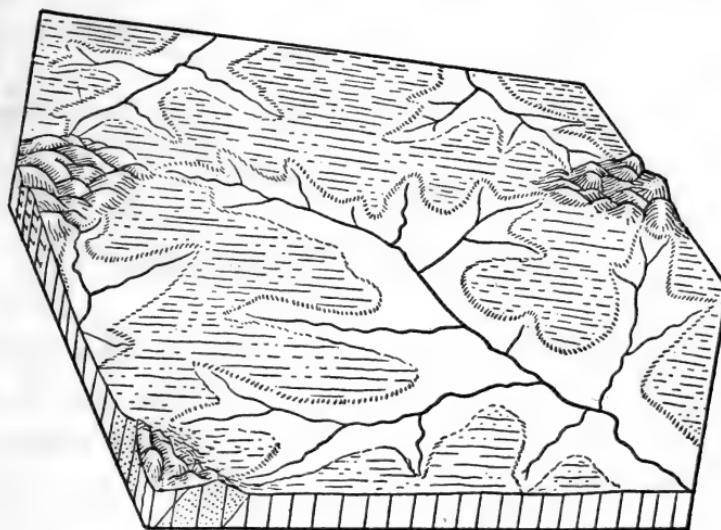


图 11 具有残丘的准平原; 残丘相应于最坚固岩石的露头
(根据 Cotton, 1942)

除了具有傾斜表面的斜坡地段外, 在高地中还可見到低平的高原状地段, 以及洼地——凹地。这里还有个别的壠崗和残丘, 突出于高地面之上(图 11)。高而平坦的地段常常适应于致密的, 受冲刷較弱的基岩(石灰岩, 砂岩), 而洼地——疏松的柔軟的岩石(沙、粘土)。在突起部分, 基岩一直分布到頂点。在高地上的冲沟

和干沟顶部广泛地分布着大量的碟形地，它们的形成是由于水流顶部的分支，其面积有时可达数平方公里，直径在1公里以上。在分水界的某些地段凹地星罗棋布，它们位于冲沟和干沟的顶部并被局部的分水界——小长丘所隔开（图12）。高地面上几乎连续由疏松的类黄土壤土和黄土组成，只是较陡的斜坡在受到冲刷之后才没有这些物质。

所有上述的地形差异在植被上也很明显地反映出来。

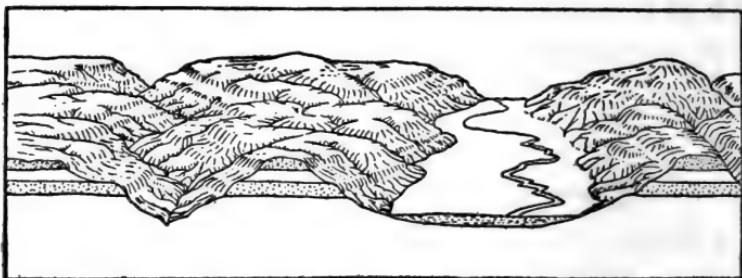


图 12 在湿润气候条件下处于发育成熟阶段的高原
(根据 Lobeck, 1939)

低地和高地冰川地形的研究

在具有冰川形态的平原地区，地形的侵蚀特点退居次要地位。这里在大地形中可以分出具有明显丘陵地段的高地，以及高地之间的平坦低地，宽阔盆地和平原。河谷大都是出现在低地和盆地，它们在高地上则沿边缘发育，特别是沿陡坡，例如沿瓦尔戴高地的西坡和克林-德米特洛夫山的北坡就是这样。

低地地形——平坦，单调，具低平宽阔的台阶，这种台阶常常一面为具有被深洼地横切的高台阶的陡坡所围绕，河流就在这些洼地中发育。在最后一次冰川作用带的低地主要由冰湖沉积物——带状粘土，无层次的壤土，细小的砂所组成。在倒数第二次冰川作用带，在低地表面覆盖粉沙壤土和沙壤以及沙土占优势。大部分河流都下切在低地和盆地的底部，而且主要河流都是沿低地和盆地的长轴分布。这些河谷没有基岸，就是阶地上通常也只发育

一个河漫滩。除了低坎坡——阶地台阶坡外，低地中还有古代的河流三角洲，特别在高而陡的坎坡（由高地到低地）附近以块状沙质高地的形式清楚地表现出来；低地中間的三角洲具有不高的沙崗或稍微高起的地段的外形。裸露的沙地上常常見到沙丘；也可遇見处于森林覆盖下的古沙丘（图13）。在平坦分水界沼泽化过程中所形成的广闊的分水界沼泽是低地的特点。这种低地的地表变化

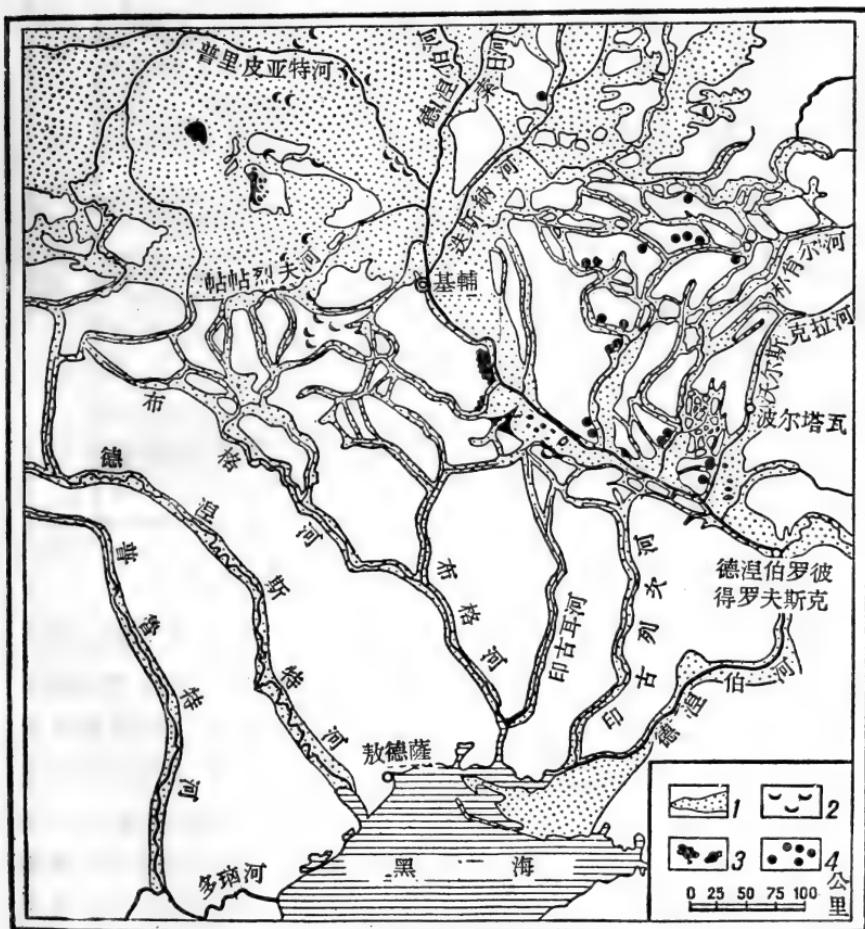


图 13 德聶伯冰舌和冰水逕流谷的边缘形成物的地图

(根据 Карапеева, 1957)

1—冰水逕流谷; 2—尾碛冰碛物;

3—挤压冰碛物; 4—漂砾堆。

强烈地反映在一般高度的潜水水位上,从而也反映在土壤上,也反映在植被上;排水良好的地段常常以狭带状分布在沿河谷两岸附近以及在这里經常見到的壠崗和丘陵(蛇形丘,冰磧阜)上(图14)。

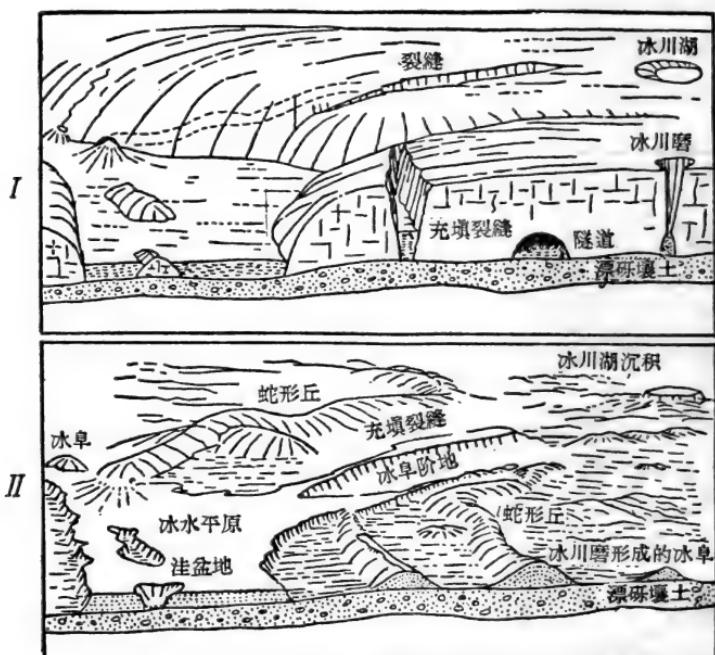


图 14 蛇形丘和冰阜的发生(根据 Lobeck, 1939)

I——覆盖着静止冰的区域; II——冰融化之后的区域。

高地的地形常常是复杂的和形形色色的。在冰川地区,地形形成各种不同的景观。最鮮明的是最后一次冰川作用带的丘陵-湖泊景观,例如瓦尔戴高地上就是这样。在倒数第二次冰川作用带,例如在克林-德米特洛夫山,上述景观就为丘陵-河谷景观(沒有湖泊)所代替了。在第一种情况下,大量的小丘陵与如此大量的小湖泊相交替;这里同样常常有蛇形丘;經常可見到較大的終磧壠崗。在丘陵地段中还有平坦的地段——冰水平原以及原来是冰川湖的地段。高地为深而寬的低洼地所切割,在低洼地的底部流着河川(图15)。低洼地本身是在淹没邻近低地的冰水退却时形成的。在丘陵地段,地形的迅速更替符合着地表沉积物的同样形形色色

的組成。所有这一切也引起土壤条件和植被在不同地形要素上的迅速更替。因此，在这里，只有进行大比例尺（不小于 1:25,000）的調查，才能进行准确的地形制图。

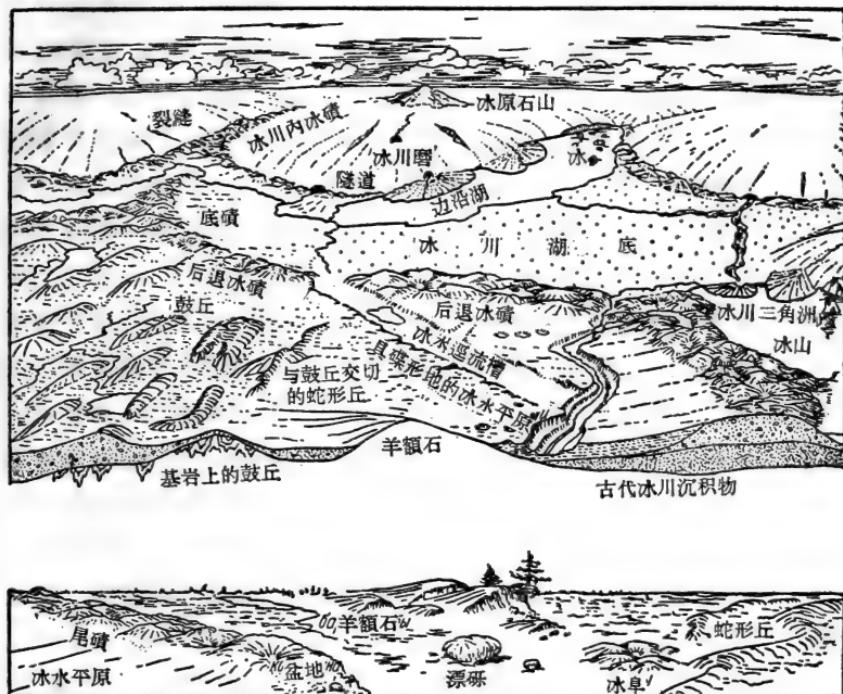


图 15 平原上冰川形态的不同类型(根据 Lobeck, 1939)

同时，在冰川作用前期的带的高地表面几乎連續盖上了一层覆盖壤土；在冰川作用后期的带，高地的不同地形要素上岩石迅速地改变着，并且漂砾壤土让位于粗沙，无漂砾的壤土或細沙；沿着洼地和盆地以及平坦地段可以見到經过分选的岩石。

丘陵景观在高地上与冰水平原和湖泊-冰川平原相结合，后者沿着丘陵景观分布，或在其南，或在其东伸延頗大的距离。冰水平原的特点是：地面微有波状起伏，具平緩的壠崗或低洼地；它們現在为湖泊和沼泽所占据，为粗的冰水沉积沙組成，上面已生长松林。湖泊-冰川平原上的平坦地面由細沙和无漂砾的壤土組成；这里的原生植被常常是云杉林。

山地地形的研究

阿尔卑斯型的高山地区以地形以尖削为特点，那里的侵蝕形态——谷地和部分分水界——常常經過冰川过程、冰水过程和冻土过程的改造。这里地形要素的地帶性(垂直带性)很明显，它不但反映现代的地理条件、而且也反映冰川时期的条件。在阿尔卑斯垂直带(雪或裸岩)的上部，占优势的是物理风化过程，因此，坡上粗大的岩屑和岩块星罗棋布。这里分布着尖削的分水脊，后者受到了冰川形态——冰斗和冰窝的严重破坏。往下(图 16 和图 17)已經是阿尔卑斯和亚阿尔卑斯草甸垂直带，以槽形谷为主，槽形谷是在山谷冰川的影响下由古代的侵蝕谷形成的；槽形谷的寬闊平坦的谷底两边为削壁所限制，后者的上面变为平坦的台阶(槽谷肩)。再下面为森林垂直带，而在南方部分也为草原垂直带，这里分布着較寬广的河谷，通常是不对称的：一边河岸陡峻，具有高而窄的阶地，而另一边河岸具有从低河漫滩开始的較寬闊的阶地系統。这些阶地大部分由卵石和沙組成，上面常被类黃土壤土所覆盖。阶地的数目可达 10 級以上，其中最高阶地的相对高度为 50—100 米。

在山地的下部还可看到相邻河谷的阶地的直接結合，实质上，它們在这里是不固定的分水界，但在山地上部，一个谷地的阶地有时逼近邻近的河流。例如在高加索北坡的庫班河和捷列克河流域就可觀察到这样的图景。

高山地形的特性在很大程度上决定于不同地段岩石組成的差异。这也表現在河谷中，河谷在較軟岩石(粘土，粘土質頁岩，胶結不良的砂岩)的地方就显著加寬。在致密的岩石，象結晶岩和石灰岩那样的岩石中，河谷狭窄，呈峽谷状。在第一种情况下，除了挖深侵蝕外，也发生旁蝕作用；在第二种情况下主要是河流下切，挖深侵蝕。

岩石的差异对单面山地形的形成有特別显著的影响，当岩层一致，呈单面倾斜时就产生单面山；在这种情况下，致密的岩层与

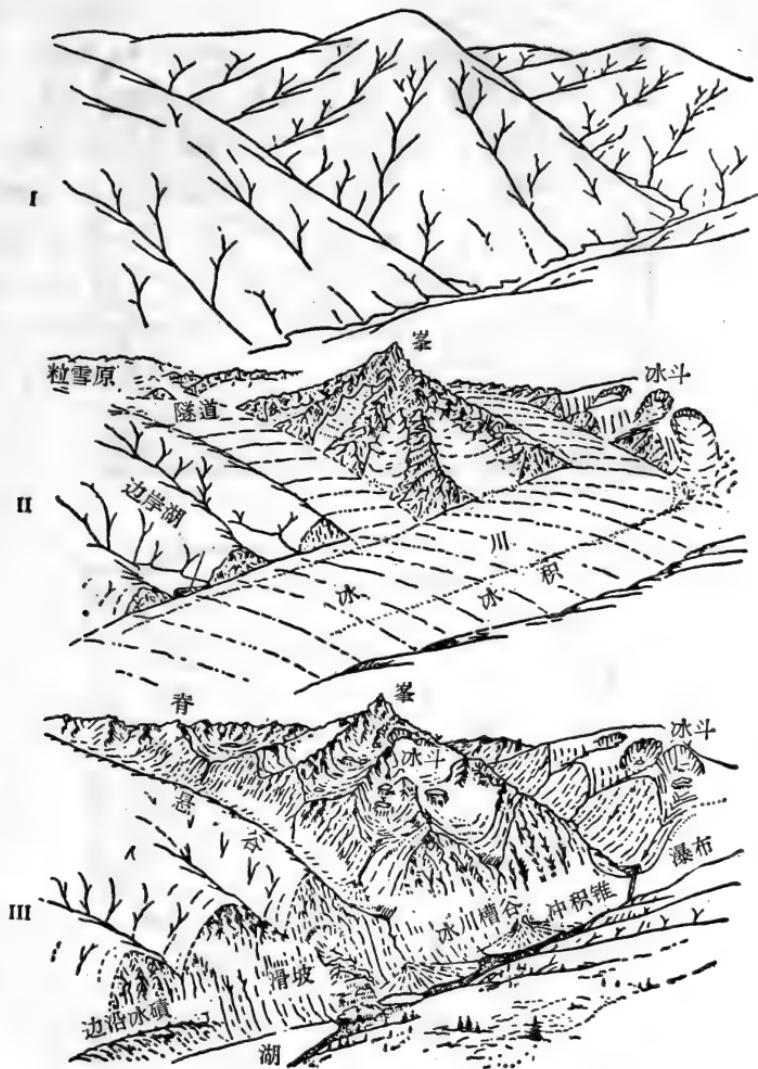


图 16 山地冰川形态的发育(根据Lobeck, 1939)

I——冰川作用以前；II——冰川作用期间；III——冰川作用以后

較軟的岩层相互交替。致密的岩石，例如石灰岩，致密砂岩，形成傾斜面，向与岩层的傾斜方向相反的方向陡斜；因此，这里有两个主要坡：与岩层的傾斜一致的緩斜长坡和切过岩层頂部而朝向相反的陡急短坡。在单面山陡坡的坡脚分布着低地，其高度比单面

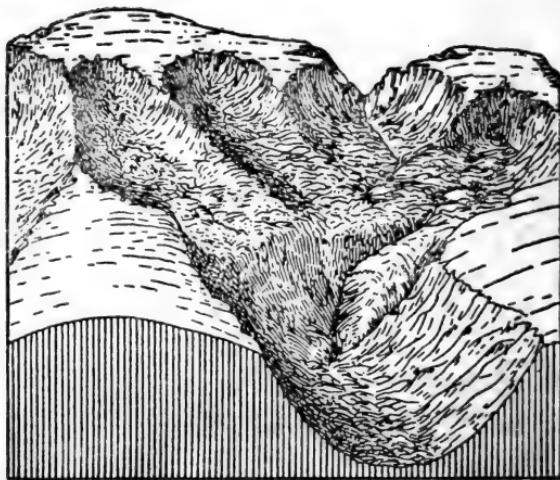


图 17 冰斗和槽谷的上端(根据Cotton, 1942)

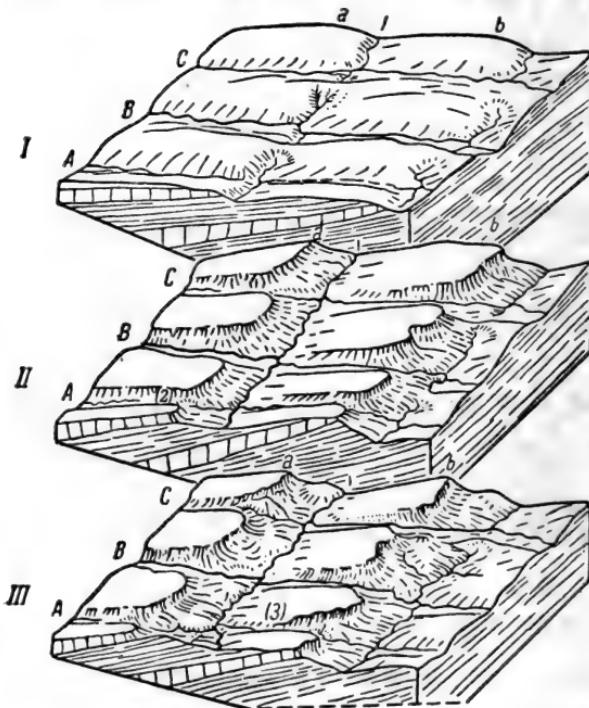


图 18 单面山发育的图式(根据 Мартонн, 1945)

I—III 单面山后退和切割加强的各阶段(a和b)。在第二阶段(II)A河和C河的源头已被B河袭夺,顺向峡谷1和2是“死谷”,即没有径流的水流。在第三阶段(III),顺向峡谷1中形成了很高的隘口,顺向峡谷3因新的袭夺而失去了水流。

山的山脊低数百米；这些低地是在較軟岩石（例如粘土，疏松的砂岩）被冲刷的情况下形成的。单面山和低地常常形成頗长的条带，有时可长达数百公里。在这种情况下，单面山通常叫做山脉，山脊，而低地带叫作纵谷。这些地形要素，举例來說，在高加索山脉的北坡是很典型的。低地的表面由于河流，主要河流的支流的侵蝕已强烈阶地化。低地在地形，岩石和气候方面都与单面山有显著的不同，这就是为什么在两种地形要素上土壤条件和植被也有差异。在低地中觀察到垂直地带性（垂直带性）受到破坏，因为这里的地理条件接近于山地下部地区的条件。

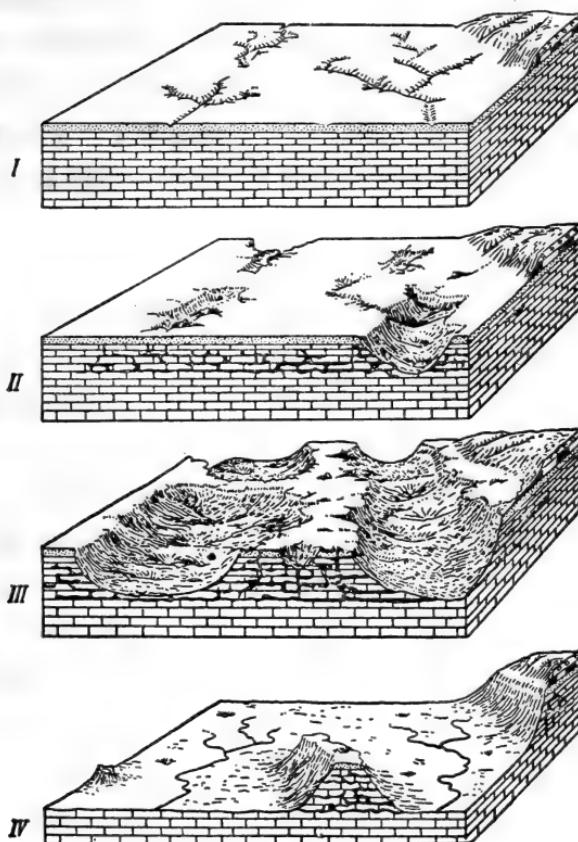


图 19 喀斯特地形发育的四个阶段(根据Lobeck,1939)

I——早期阶段；II——年青阶段；III——成熟阶段；IV——衰老阶段。

单面山地形(图18)不仅在高加索山北坡和南坡很典型,而且在克里米亚山地也很典型:在克里米亚的雅依拉(яйла)以北分布着单面山和低地相交替的带。在两侧支流与从山上流入克里米亚草原平原的主流汇合时,低地特别加宽。

最后,高原也属于山地地形要素,那里地面高而平,或呈缓倾斜,被峡谷型的深谷所切割。只有在河谷和河谷附近地段才能观察到高度的显著变化和地表的大量切割,河间地段很平坦。在河间地的平坦或轻度阶地化的地表只屹立着残丘的峰顶或高度很小的小块山体。

高原地形就其起源而论常常与坚固的岩石(例如结晶岩)相联系,也与不易受侵蚀而有裂缝的岩石(石灰岩)相联系。因此,广泛分布着由结晶岩或熔岩、以及石灰岩组成的高原。在高加索、在阿尔泰以及在中西伯利亚高原有这种或那种例子。克里米亚的雅依拉是具明显喀斯特形态(溶沟,漏斗,波立谷,岩洞等)的石灰岩高原的代表(图19)。

地貌研究的基本任务

总之,为了顺利地进行地貌观测(它们之中的大多数地植物学家都可以在地植物研究时同时进行),必须:

1. 在出发到野外之前,通过研究地形图,专门地图,航测资料和有关文献资料进行认真的准备。尝试编制初步的地貌图(首先是利用航测照片)也很有用。

2. 在野外工作的开始,进行勘察性的路线调查,以便对研究地域和邻近地区的地形得到一个总的概念;在这种情况下,航空目测非常重要,在所有上述的观测中,都要进行航空照片判读,根据直接和间接的标志(例如土壤和植被)识别图上各种地形要素。这样就可以核对和订正出发到野外之前所编制的地貌图的一般内容。

3. 通过较密的横穿调查路线网,对地形进行全盘的较详细的研究,如果地形复杂,还要利用纵穿的调查路线。路线网的密度依

測量的比例尺和地形复杂程度而定。

根据路綫进行航空照片的地貌判图时，对于确定路綫之間地段上的地形要素也必須利用航空照片，这使我們有可能論証和校正地貌图。在这种路綫調查中，需要作概略的地貌剖面，沿路綫的个别典型地段作較詳細的剖面，并选定作詳細地形測量和水准測量的地段。

4. 在不大的典型地段——索引地段进行大比例尺測量，地段的大小視測量的比例尺和該地方地形的特性而定。然后，沿穿过主要地形要素的最重要方向进行水准測量。索引地段的数目首先依地形形态和它們的复合体(комплекс)的多样性而定；研究地域地表形态越多种多样，索引地段越要設置得多。

5. 研究地形时必須注意地形不同形态和复合体的结构，也必須注意它們之間的关系。

6. 考虑地形特性与地质条件，以及現代地理条件和古地理条件之間的联系。指出現代过程，例如河流侵蝕过程、沟蝕过程、土壤冲刷、风蝕过程等等，我們在有些地方可以眼看到这些过程在改变着地形。

7. 完成上述1—6点之后，对地形形态和它們的复合体在多种多样的和不同時間的过程影响下的发生和发展作出結論(推測)。

8. 当野外資料整理以后，以最后的形式編出：1)研究地区的地貌图；2)个别地段——索引地段的图；3)路綫示意剖面；4)个别地段的水准測量剖面；5)全区和各个地段的地貌描述。最好附一些典型地段和主要地形要素的航空照片作为說明。

(李 恒譯，陈昌篤校)

参 考 文 献*

Андреев В. Н. 1955. Декодирование по аэрофотоснимкам различных

* 这里列举的文献，除方法性质的著作外，还有涉及不同地理地区的地貌著作和地植物学著作；提出的地植物学著作主要是那些确立植被与景观，特别是与地貌条件的联系的文章。

типов тундр и их аэровизуальная характеристика по морозной трещиноватости. Геогр. сб., VII, Вопросы аэрофотосъемки. Изд. АН СССР, Л.

Анучин Д. Н. и А. А. Борзов. 1948. Рельеф Европейской части СССР. Географгиз, М.

Башенина Н. В. и С. С. Воскресенский. 1955. Методы геоморфологического исследования. Изв. Акад. наук СССР, сер. геогр., № 1.

Берг Л. С. 1947, 1952. Географические зоны Советского Союза, тт. 1, 2. Географгиз, М.

Берг Л. С. 1955. Природа СССР. Географгиз, М.

Бондарчук В. Г. 1949. Основы геоморфологии. Учпедгиз, М.

Борзов А. А. 1951. Географические работы. (Сборник статей). Географгиз, М.

Боч С. Г. 1953. О геоморфологических профилях. Изв. Всесоюзн. геогр. общ., т. 85, вып. 5.

Викторов С. В. 1955. Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. Изд. АН СССР, М.

Викторов В. С. 1955. Растительность как индикатор при гидрогеологическом дешифрировании аэрофотоснимков. Геогр. сб., VII. Вопросы аэрофотосъемки. Изд. АН СССР, Л.

Геоботанические методы при геологических исследованиях. Сборник статей. 1955. Госгеолтехиздат, М.

Геоморфологическое районирование СССР. 1947. Изд. АН СССР, М.

Герасимов И. П. 1939. Рельеф и поверхностные отложения Европейской части СССР. Почвы СССР, т. I. Изд. АН СССР, М.

Герасимов И. П. 1948. Современные проблемы геоморфологии Казахстана. Алма-Ата.

Гладцин И. Н. 1939. Геоморфология СССР. Ч. 1. Геоморфология Европейской части СССР и Кавказа. Учпедгиз, Л.

Дементьев В. А. 1938. Материалы по методике комплексного геоморфологического изучения речных террас. Изв. Гос. геогр. общ., т. 70, вып. 4—5.

Добрынин Б. Ф. 1948. Физическая география СССР. Европейская часть и Кавказ. 2-е изд., Учпедгиз, М.

Еленевский Р. А. 1936. Вопросы изучения и освоения пойм. Изд. ВАСХНИЛ, М.

Ефремов Ю. К. 1949. Опыт морфографической классификации элементов и простых форм рельефа. Вопросы географии, сб. 11, Географгиз, М.

Каманин Л. Г. 1938. Геоморфологический очерк Средне-Сибирской плоской возвышенности. Тр. Инст. геогр. АН СССР, вып. 29.

Карандеева М. В. 1957. Геоморфология. Европейская часть СССР. Изд.

Моск. гос. унив., М.

Кац Н. Я. 1948. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. Географгиз, М.

Крашенинников И. М. 1951. Географические работы. Географгиз, М.

Кудрицкий Д. М., И. В. Попов, Е. А. Романова. 1956. Основы гидрографического дешифрирования аэрофотоснимков. Гидрометеоиздат, Л.

Леонтьев В. Л. 1952. Об использовании аэрофотосъемки и аэровизуальных исследований растительности при освоении пустынь. Ботан. журн., т. 37, № 5.

Ливеровский Ю. А. и Б. Н. Колесников. 1949. Природа южной половины Дальнего Востока. Географгиз, М.

Марков К. К. 1948. Методика составления геоморфологических карт. Тр. Инст. геогр. АН СССР, вып. 39.

Марков К. К. 1948. Основные проблемы геоморфологии. Географгиз, М.

Марков К. К. 1955. Очерки по географии четвертичного периода. Географгиз, М.

Мартони Э. 1945. Основы физической географии. Т. II. Геоморфология. Учпедгиз, М.

Мильков Ф. Н. 1953. Воздействие рельефа на растительность и животный мир. Географгиз, М.

Мирошниченко В. П., Н. Н. Соколов, Б. В. Виноградов. 1956. Использование аэрофотосъемки при географическом изучении территории. Сб. «Вопросы географии», Изд. АН СССР, М.—Л.

Михайлов Н. И. 1945. Опыт дешифрирования аэроснимков при топографической съемке в районах Крайнего Севера. Сб. Гл. упр. геодез. и картограф., вып. IX, М.

Мозесон Д. Л. 1956. Опыт применения количественного метода при исследовании малых форм рельефа. Изв. Акад. наук СССР, сер. геогр., № 5.

Пармузин Ю. П. 1950. Опыт применения аэрофотометодов при геоморфологических исследованиях таежной полосы средней Сибири. Вопросы географии, сб. 21, Географгиз, М.

Петров М. П. 1944. Роль растительности в эволюции рельефа песчаных пустынь. Изв. Туркм. фил. АН СССР, № 3—4.

Петрусевич М. Н. 1954. Геолого-съемочные и поисковые работы на основе аэрометодов. Госгеолтехиздат, М.

Попов Т. И. 1914. Происхождение и развитие осиновых кустов в пределах Воронежской обл. (Гео-ботанический очерк). Тр. Докучаевск. почв. комитета, вып. 2. Пгр.

Раменский Л. Г. 1938. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. Сельхозгиз, М.

Ренгартен П. А. 1939. Использование материалов аэрофотосъемки для геоморфологических исследований в различных физико-географи-

ческих условиях. Изв. Всесоюзн. геогр. общ., т. 71, вып. 6.

Самойлович Г. Г. 1953. Применение авиации и аэрофотосъемки в лесном хозяйстве. Гослесбумиздат, М.—Л.

Скворцов Ю. Л. 1934. К методике геоморфологической и четвертичной съемки. Пробл. сов. геологии, № 10.

Скворцов Ю. А. 1941. Метод геоморфологического анализа и карттирования. Изв. Акад. наук СССР, сер. геогр. и геофиз., № 4—5.

Соколов Н. Н. 1948. О геоморфологических провинциях Русской равнины. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. XXVII.

Соколов Н. Н. 1955. Особенности рельефа Северо-запада и их влияние на ландшафты. Сб «Памяти Л. С. Берга», Изд. АН СССР, М.—Л.

Спиридовон А. И. 1952. Геоморфологическое картографирование. Географиз., М.

Спиридовон А. И. 1956, 1959. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований, ч. 1 и 2. Изд. Моск. гос. унив., М.

Справочник путешественника и краеведа. 1950. Т. II. Под ред. С. В. Обручева. Гл. XV, XXI. Географиз., М.

Суслов С. П. 1954. Физическая география СССР. Азиатская часть. Учпедгиз, М.

Тюремнов С. Н. 1949. Торфяные месторождения и их разведка. Госэнергиздат, М.—Л.

Тюремнов С. Н. и Е. А. Виноградова. 1953. Геоморфологическая классификация торфяных месторождений. Тр. Моск. торф. инст., т. 2.

Федорович Б. А. 1943. Аэрофотосъемка и вопросы изучения и освоения пустынь. Изв. Акад. наук СССР, сер. геогр. и геофиз., № 4.

Федорович Б. А. 1948. Вопросы происхождения и формирования песчаного рельефа пустынь. Тр. Инст. геогр. АН СССР, вып. 39.

Федорович Б. А. 1948. Рельеф песков Азии как отображение циркуляции атмосферы. Пробл. физ. геогр., XIII.

Шарков В. В. 1955. Применение аэрометодов при исследованиях четвертичных отложений. В: Метод. руков. по изуч. и геолог. съемке четверт. отложений, ч. 2, Госгеолтехиздат, М.

Щукин И. С. 1934, 1938. Общая морфология суши, I, II. Геол.-нефт. изд., М.

Эдельштейн Я. С. 1947. Краткое методическое руководство для производства геоморфологических наблюдений в поле. Госгеолиздат, М.—Л.

Эдельштейн Я. С. 1947. Основы геоморфологии. Изд. 2-е. Госгеолиздат, М.—Л.

Эпштейн С. В. 1955. Геоморфологические методы. В: Метод. руков. по изуч. и геолог. съемке четверт. отложений; ч. 2. Госгеолтехиздат, М.

Cotton C. A. 1942. Geomorphology. Wellington (N. Z.).

Lobeck A. K. 1939. Geomorphology. New York.

地植物学研究时的小气候及其研究方法

Б. П. 卡罗里(Кароль)

(国立列宁格勒大学)

基本原理和概念

气候是植物周围主要环境因素之一。每一棵植物的生长和发育都需要光、热和水分。这些要素可以看作气候資源，无论是否是农作物的生产，或者是野生植被的生长和发育都是基于对这些要素的利用，正如利用土壤肥力一样。所有其它气象要素只不过调整这些基本要素的作用而已。

不论在农业或是在林业中利用现有气候資料的尝试，并未经常得到理想的結果；气候学的成就和实践需要之間出現了不协调的現象。气候手册和气候年鑑中的資料是不足的，在許多情况下，当为解决个别国民经济問題而企图利用这些資料来鑑定气候条件时，往往会导致謬誤。例如，气候手册中的严寒天数就往往會給人一种虛构的觀念：以为切割地形不同地段中的农作物都有受冻害的可能。

发生这种情况的原因是由于气候手册和气候图集中的气候数据都是距地表2米高度（即稍高于人的平均高度）上的数据。然而，大家都知道，在較接近地表的空气层中，空气的物理性质与2米高度上的有重大的差別。愈接近地表，最高溫度愈高，最低溫度愈低（图1）。在近地面层中，象夜間的霜冻和雾这类現象也比較剧烈，白昼則觀察到空气的强烈增热。

在水平方向上这里的空气性质也同样有很大差別——溫度和湿度状况有着变化。这是由于下垫面結構的不均一性所引起。

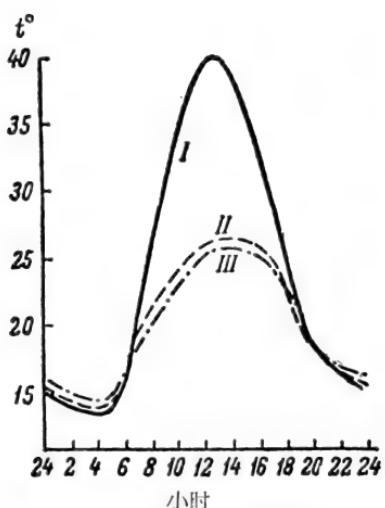


图 1 气温的周日变化
(根据 Гейгер, 1931年)

I——在地表; II——在40厘米高度上;
III——在200厘米高度上。

气象要素的变化叫做“小气候”(микроклимат)。小气候的特性主要表现在近地面空气层,并随高度的增加而趋于平缓。

与“小气候”这个术语相对应,由大规模的因素所决定的气候现象有时就称为“大气候”(макроклимат)。

现代的科学文献中有小气候和地方气候(местный климат)(中气候)这两个概念。C. A. 萨波日尼科娃 (Сапожникова, 1950) 将“地方气候”这一术语引入俄文文献中。C. A. 萨波日尼科娃把小气候理解为个别较小的土壤起伏(如沟渠、各个小草丘),不同密度的植被、土表湿润情况的小小差异等等所引起的气候变化。为了鉴定气象要素在这些条件下所发生的变化,需要专门的仪器和特别的研究方法。这种研究对解决与近地面空气层的物理学研究有联系的一系列理论问题有重大的意义。

“地方气候”的概念代表介乎大气候和小气候之间的中间条件;按照 C. A. 萨波日尼科娃(Сапожникова)的意见,这是森林、林中草地、城市、草甸等等的气候。这种气候的研究可以阐明森林或田野的位置对它们的气候特性和植物生存条件的影响;而且它

所有田间作物,草本植被以及木本植被在它们发育的最初时期都要经受近地面气层的影响。人也大都在地面上2米以内的大气层内生活。由此可见,近地面层气象条件的研究是一项有重大实际意义的任务。近数十年来,人们已经注意到了这个问题的重要性。

在地形、植被、土壤状况、水体有无等差异性的影响下形成的以及通常在斜坡、森林、林中草地、空草地、湖岸、河漫滩、沼泽等等的不大地段上所发生的一切

不需要过于复杂的专门仪器。

应该指出，这样的划分是十分带有条件性的，因为一种规模向另一种规模的过渡是逐渐的，很难确定地方气候和小气候特性之间的明确界线。在一定时间内，气候的一切地方性变化都已惯称为小气候，一般认为，这一概念更能符合于事物的实质和实践的需要。因此，现在人们都谈论田间小气候、森林小气候、林中旷地小气候、城市小气候等等。这一术语是目前气候学中通用的。

小气候学的任务在于利用野外小气候研究的资料来确定下垫面的这一或另一特性在研究地域气候状况中的作用。

在温带最不相同的气候条件下，即使天气情况一样，气候要素的小气候差异，如同森林中、林中旷地上、丘陵上和低地中的小气候差异，还是明显存在。因此，有可能把在一个地方所获得的小气候鉴定用于另一地方下垫面类似的地段，而不必在后者进行同样的研究。

关于小气候状况的资料对人类实践活动的最不同的方面，特别是在农业方面和林业方面，都是必需的。

对近地面层气象要素沿高度方向分布情况的观测表明：下垫面之上最初若干厘米范围内气象数值的迅速变化，到数十厘米的高度上就变得缓慢起来。在通常的天气条件下，在1.5—2.0米左右的高度上，受到该下垫面地段的影响的空气与受到具有另一种下垫面性质的邻近地段的影响的空气已经发生混合。因此，以1.5—2.0米的高度作为下层空气的上界。大家知道，气象站观测空气温度和湿度的仪器正是安装在这种高度上。

由于下层空气的气象状况制约于下垫面的性质，因此，在具有不同下垫面的邻近地段上，常常形成不同的小气候。它们借助于空气的水平移动而相互作用。水平移动的发生基本上也正是由于相邻地段上气象条件的差异。邻近地段上空的一般风状况也同样有影响。由于这个原因，区分出独立的小气候和非独立的小气候。

独立的小气候是在当地下垫面特性的影响下创造出来的，它的全部特性就是在当地形成，大林区或大水面的小气候是例子。

非独立的小气候是这样的小气候，在它的形成过程中，来自該地段周围的，具有另一种性质的空气的进入起着重大作用。由于这种空气的影响，在下垫面作用下所形成的气象特点将部分地发生变化。荒漠中小綠洲的小气候，草原上林带的小气候都可作为例子。

在不同地形条件中的小气候

在相对平坦地方条件中的小气候

从小气候的定义可知，在均一而平坦的下垫面条件下，土壤表面（如果是裸露的話）或植被表面（如果土壤为植被所覆盖的話）白昼增溫最劇。白昼，从裸露土壤或植被表面开始，气温随高度的增加而下降。在晴朗无风的夜，在下垫面强烈輻射的情况下，由于地面而冷却了的空气仍旧留在土壤表面，冷却过程非常緩慢地向上层空气传递，同时，溫度将随高度而增加。在苏联欧洲部分，从土壤表面到 1.5—2.0 米的高度这一增高，平均为 2.0—2.5°C。在大陆性气候的西部西伯利亚，东部西伯利亚和哈薩克斯坦北部，升高的溫度达 3.5—4.0°C，个别情况下，在沒有露水的干燥夜間，可能增加 8.0—10.0°C。

但是，下垫面均一的完全平坦的地而在陆地上是少見的。冻原北部的地面相当平坦，然而在那里也有湖泊和沼泽，而且灌木—草本下垫面与苔蘚和地衣被覆互相渗杂，也見到个别的小块高地和覆盖草丘的地段。所有这些下垫面的特性形成冻原中小气候的某些差异。然而这种差异毕竟是微不足道的，因为在这种緯度上云量大，而在短促夏季的个别晴天，太阳光綫以很小的角度射到水平面，因而下垫面增溫不多。

在冻原条件下，通过长年工作站的觀測常常可以得到必要的小气候資料。为了研究沒有固定气象站的一定地域或下垫面特殊的地段，組織临时气象站或进行5—6天的短期路綫觀測就足够了。

在草原地区也有相当平坦的地面。但这里有很大可能出现小气候的差异。草原上的草本下垫面并不处处一致，有些地方草群较高而密，有些地方，例如，通常分布在小的碟形地中的碱土，草群稀疏。此外，草原有时被冲沟和干沟切割得支离破碎。夜间，冷空气流向低地，但白昼，低地又比平坦地增温较多。

在苏联草原南部常常见到山岗，石质山坡和丘陵（圆丘），这些地方以切割地形所特有的小气候为特征；这里必须进行特殊的小气候观测。

在草原的平坦地段，鉴别小气候可以利用附近草原开垦地方上固定气象站的资料；但在切割地形条件下，必须进行专门的观测。

如果草原已被开垦并用于栽培作物，那么这些地方的小气候以各种农作物的小气候说明。

切割地形条件中的小气候

不同地形的小气候差异表现为不同坡向斜坡的增温性质不同，空气沿坡上升和下降的性质不同，受风的影响也不同。

许多研究者计算了在一年中不同时间，在晴天条件下到达不同方位和坡度的斜坡上的太阳辐射热量。早春和秋季，北半球朝南的陡坡获得的热量最多。四月中旬，坡度为30°的南坡收入的热量在60°的纬度上比平地多50%，在50°的纬度上——多28%。在北纬50°的北坡由于太阳离地平线的位置较高，所以比北纬60°的北坡增温多。夏至时，不同坡向的斜坡从直接太阳辐射得到的热量相差很少。在这一方面，不同纬度的北坡也相差不多。然而，在北纬60°坡度20°左右的北坡所得到的辐射只为平地的80%。

早春时节，南坡的土壤已开始迅速增温而变干，但北坡还可能有积雪，土壤寒冷而潮湿。

植被敏感地反映着这些小气候的特性。草原植被顺丘陵的南坡向北深入，而森林沿北坡可能远远地进入草原地带。北坡的栽

培植被的发育通常迟延。南坡的谷物可能已在收获,但在同一高度的北坡上,作物还是一片碧绿。同样,干旱在南坡也要比在北坡早得多降临。

就增温的程度而言,东坡和西坡处于北坡和南坡之间的中间位置。但是,在同样坡度情况下,西坡毕竟总比东坡要稍微暖和些。在东坡上,一部分太阳辐射热要用于蒸发夜间形成的露水。西坡是在早晨较晚的时候才开始得到太阳辐射热,这时土壤已经相当干燥,大量的太阳热用于土壤和空气的增温(图2)。

在不同地形条件下,不同斜坡上近地面层空气增温程度的差别依赖于土壤温度的变化。离土壤愈远,差别迅速减少,到2米左右的高度上,通常仅相差十分之几度,但在土壤表面,这种差别可能达到6—10°C。

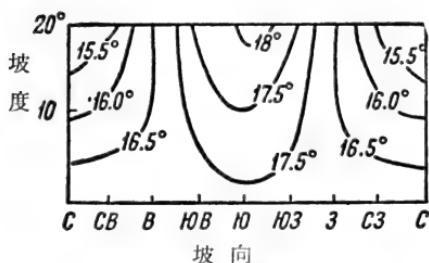


图2 以坡向和坡度为转移的20厘米深度上的日平均土温 (1936年9—10月) (根据 Сапожникова, 1950年)

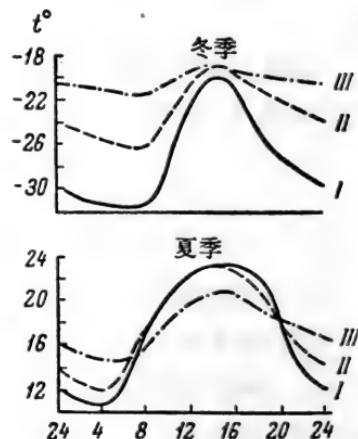


图3 阿穆尔州不同地形条件下冬季和夏季气温的昼夜进程
(根据 Сапожникова, 1950年)
I——谷地中; II——长岗上;
III——山上。

如果斜坡有起伏和具有不同的朝向,在最小的高度差别下,地形对温度都会发生影响。菜畦上和菜畦之间的土壤温度和近地面空气层温度的差别可能达到好几度。春季,犁地深耕促使土壤比较快的增温和变干。在深耕的情况下,耕作层的温度在生长期平均增高2—3°,同时与平地比较起来,增温最多是在春季观测到。在北方区域和西伯利亚深耕是与热量不足和水分过剩进行斗争的

手段。

空气沿坡面上升和下滑的影响表现在，在凸出地形（丘陵，长岗，山脊等）上，温度昼夜的波动减小。白天，高地表面增温较少，因为这里发生空气的自由环流。在所有的低地地形中，特别是在闭塞谷地中，空气增热较为强烈；这里增热面积本身较大，此外，这里的风很微弱甚至完全没有，所以已增热的空气停滞在这里（图3）。夜间，凸出地形上的冷却了的空气由于密度较大，沿坡向下流动，顶部就让位于从较高层流来的较暖空气。冷空气在低地汇集起来，并引起这里的温度下降。因此，低地往往有较频繁的和较强烈的寒冻；露和霜也较多，而且经常有雾（图4）。

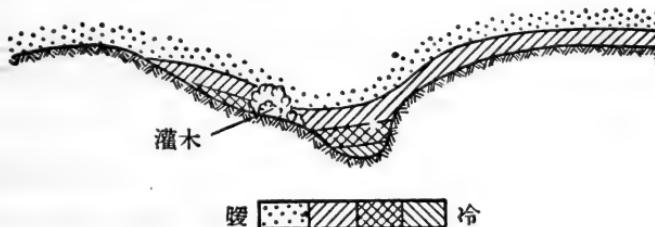


图 4 在切割地形条件中夜間气温分布的图式(根据 Сапожникова, 1950年)

地形对最低温度的影响极其强烈。由于低地的温度在夜间急剧下降，这里的无霜期就大大缩短。И. А. 戈里茨别尔格 (Гольцберг; 1949, 1957) 在整理大量观测材料的基础上，曾经编制出一个表，从表中可以清楚看出：与开旷地点比较起来，离地面 1.5—2.0 米处无霜期的长度在不同地形条件下是怎么改变的（见下页的表）。

地方的地形对蒸发和与蒸发相联系的土壤湿度和空气湿度也同样有很大的影响。高地的蒸发比空气环流微弱的低地强烈。蒸发值也依赖于坡向。南坡蒸发最大，北坡最小，东坡和西坡占据中间位置。因此，与其它朝向的斜坡比较起来，南坡的土壤湿度也最小。除了朝向之外，土壤湿度还依赖于该地段在斜坡上的位置和坡度。斜坡上部最干，由此开始，土壤水分含量向坡脚的方向逐渐增大。至于湿度，那么低地中不论绝对湿度或相对湿度都有比高

地段的地境对平均无霜期的影响

地段的地境	订正数(天数)		
	春季	秋季	合计
斜坡顶部和上部	+10	+10	+20
宽阔(超过1公里)平坦的谷地	0	0	0
微起伏地形情况下的谷地	-5	-7	-12
丘陵地方的谷地(谷缘与谷底之差不到50米)	-4至-6	-8至-12	-12至-16
丘陵地方的谷地(谷缘与谷底之差超过50米)	-6至-10	-10至-15	-16至-25
闭塞谷地和山间盆地,边缘与底部相差超过50米	-12至-18	-18至-22	-30至-40
山地高原	-5	-10	-15
大河河谷、大湖和大型水库沿岸	+5	+10	+15

附注: 正号表示无霜期比平坦开曠地方的长, 负号表示无霜期比平坦开曠地的短。

地大的变化幅度。

切割地形对风速和风向都有影响。当孤立丘陵被风环绕流过时, 最大的风速不是在丘顶, 而是在迎风面的两侧, 最小风速在背风坡(图5)。这里发育着强烈的涡旋, 有时且形成方向相反的气流。

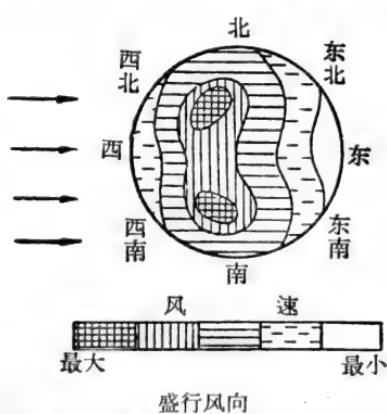


图5 丘陵上和丘陵周围的风速分布
(根据 Костин и Покровская, 1953年)

增加。

切割地形也影响雪的分布。在风力强的地方, 高地顶部附近

地形对降水的增加和雪被的分布影响更大。切割地形的起伏在气流通过时起着障碍作用。这样, 气层被迫上升, 因此, 不管地方的高度变化如何, 降水都要增加。在高地顶部附近, 大量的雨点和雪粒被吹到风力较弱的背风面, 由于这个原因, 雨滴和雪粒加快降落。因此, 在顶部附近, 迎风坡的降水量减少, 而背风坡的降水量

和迎风坡上，干雪被抬升起来，被风送到风速较小的地方。其结果丘陵顶部以及迎风坡雪被一般较薄。在没有植被的情况下，这些地方往往完全没有雪盖。背风坡和低地则相反，雪堆得很厚。

不同植被类型的小气候

首先应该谈谈在生物学和农业气候学中所常用的“植物气候”（“фитоклимат”）这个概念。在气候学中，植物气候被理解为植被内部，例如草群、树冠等等中的气候条件，或准确地说，气象条件。因此，每一个植物群落以自己的特殊植物气候为特征。这一定义符合于B. H. 苏卡切夫所下的定义，根据他的定义，每个群落都有自己的气候——植物气候，这种气候在很大程度上决定于群落本身组成的结构。有人（Сеянинова-Корчагина, 1949）建议，采用“植物群落气候”（фитоценоклимат）这个术语来代替按上述理解的“植物气候”，而“植物气候”则用来代表制约着一定生活型的存在的气候——象瑙基耶尔所曾经建议的“Pflanzenklima”。

在气候学中不区分制约着植物一定生活型的存在的气候和群落所创造的气候，并且认为植物气候是一般小气候的局部情况之一。在这种情况下，可以谈论植物之间的小气候和植物本身的小气候。下面简述一下后一种小气候。

H. H. 卡里金（Калитин, 1938）曾经对各个叶片在太阳能方面的反射、吸收和透过能力进行过观测。根据这些观测，投射到叶面上的辐射能约有 25—30% 从叶面反射出去了，约 20—25% 左右被吸收并

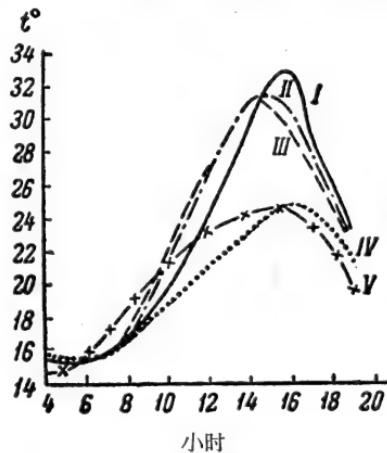


图 6 老松树不同方向的树皮中温度的昼夜进程
I——西南； II——南； III——东南； IV——北； ——气温。

消耗于蒸发(蒸騰)，透过叶片的达45—50%。过去进行过，現在也在进行这样的觀測：叶片或树干的溫度与周围空气的溫度有多大的程度的不同，或者，譬如說，树干中的溫度如何在树干的不同朝向的面上，从表面向着它的中心变化(图6)。这样的觀測在目前进行的很有限，因为所需要的設備十分复杂。为了这种研究的簡單的普及的方法还没有制定出来。

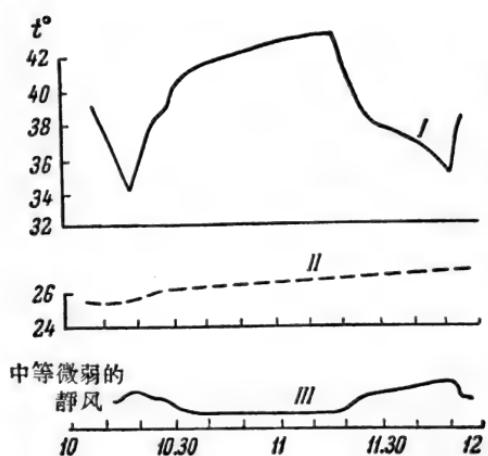


图7 依风力为轉移的叶子溫度 的变化 (根据 Гейреп, 1931年) I——叶子溫度; II——气温; III——风力。

然而关于这个問題現有的資料毕竟說明下列事實，即在晴天植物叶子的溫度依叶子的性质和它的顏色不同而与周围空气的溫度有所差別(图7)。夜間，由于叶面的大量輻射，叶子溫度可能大大低于周围空气的溫度，同时，这种差別的程度以叶子的特性为轉移。风对于叶子的溫度也有影响；风愈大，叶子的溫度愈低(图7)。

草本植被(草甸、草原)的小气候

植被的存在使溫度状况发生变化，并使近地面层的水分交换較之裸露土壤更为复杂。在草被中可以明显地分出两个作用面：

1. 植被的上表面和2. 直接輻射能够达到的(不被叶面反射和吸收)土壤表面。以草群密度为轉移，两个作用面可能都表現很清楚，或者只有一个作用面表現出来。

草群内部溫度和离土壤表面2米高度上溫度的差异依賴于草群的密度。草群愈密，植物之間的溫度愈低，它也愈接近于2米高度上的溫度。在稀疏草群的情况下，群落內土壤和近地面下层空

气較强烈地增溫，并且比起2米高度上的空气要具有較高的溫度。在稀疏的草被中，太阳輻射虽然可以自由地通过它，土壤和空气之間的垂直交換仍要減弱，这促使不論是土壤，或是

土壤附近的空气都比草群稠密地段增溫較多。夜間，在交換更加微弱的情况下，土壤的散热也減弱，因此，土壤能保持較高的溫度(图8)。

在草群中，特別是由具寬闊叶片的植物組成的草群中，白天，草被表面增溫最多；由此向上或向下到土壤，溫度逐漸降低，而以土壤表面的溫度为最低。夜間，最低溫度在比草被上表面稍低的地方觀測到。同时，土溫可能大大地高于植被表面的溫度和植被之上5—7厘米高度上的溫度。例如，在六月一个无风的晴朗傍晚所进行的觀測获得下列結果：草被表面的溫度是 $+5.9^{\circ}\text{C}$ ，草被之下土壤表面的溫度—— $+19.6^{\circ}\text{C}$ ，离草层5厘米的高度上—— $+8.5^{\circ}\text{C}$ ，100厘米的高度上—— $+10.2^{\circ}\text{C}$ 。

根据 A. И. 沃耶依科夫(Воейков, 1913)的資料，在梯比里斯，稀疏草群中土壤表面的溫度可能上升到 78° ，但裸露土壤上的溫度仅达 67°C 。这里在稀疏草群中表現出热量交換的減弱。强烈生草化的土壤的表面，溫度通常比裸露土壤表面高，因为生草层导热性不良。但土层本身在这种条件下的对比关系則相反。

夏季，植被下土壤溫度的降低可能分布到頗大深度。例如，在列宁格勒近郊，六月在自然草被下面10厘米深处的溫度比裸露土壤同一深度的溫度低 3°C 。

被草本植被所占据的地段的蒸发比裸露土面的蒸发大得多。同时，草群叶子的蒸发面愈大，植物消耗于蒸发的热量就愈多，因

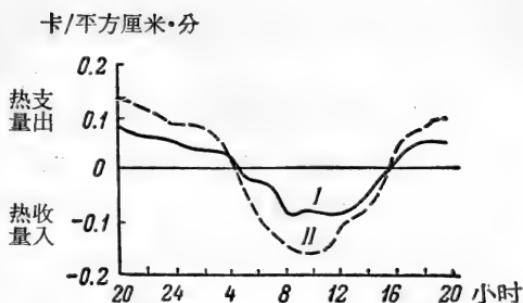


图8 列宁格勒州科尔图什草群内的(I)和裸露土壤上的(II)热量交換强度的昼夜进程(根据 Cano-Жников, 1950年)

此在足够湿润的土壤上，在稠密草群的上面白天观测到温度的降低（逆增¹⁾）。

植被的蒸发和乱流热量交换强度的下降一起，导致植物间空气湿度的颇大增加。白天在植被内部，空气的绝对湿度可能比空旷地点大6—10毫巴。傍晚和夜间，草群中的空气湿度可能比空旷地点同一高度上的湿度还低，这是由于植被表面强烈冷却，而且有丰富的露水降落。晴天，草群中的相对湿度可能比空旷地方高15—30%。

草本植被表面能阻截一定数量的大气降水，特别是露水、霜和雨凇。有些草能大量地阻留雪，后者在融化之后就可增加土壤的湿度。

不割草的生荒地和不耕翻的田地的草本植被可以阻截大量降水。如果在这样的生荒地上不放牧牲口，那么由植物死亡部分组成的連續死地被层既能阻留降水，又能阻留暴雨逕流和春季逕流。

沼泽的小气候

由于存在有各种各样类型的沼泽，沼泽的小气候状况也以形形色色为特征。此外，在同一个沼泽中、在小丘、草丘和湿洼地上，表面湿度和植被性质也不同。

观测表明，在夏季的晴天，泥炭藓沼泽的表面增温非常强烈，因为藓类的导热性不良，热很难传递到泥炭层的深处去。至于在晴朗的夜间，特别是在空气相当干燥的情况下，这种沼泽的表面则因辐射而强烈冷却。在某些情况下，冷却可使温度降到0°以下，在盛夏可能还有霜冻。这种冷却过程的原因是：由于相当暗色的表面的强烈辐射所损耗的热量不能依靠较深层（那里的热储量也为数甚微）的热量来补偿。因此，沼泽表面在一昼夜期间观测到温度的巨大波动，然而，这种波动所涉及的深度不大。在40厘米的

1) 温度随高度增加而上升这样的温度垂直分布情况叫作温度逆增。

深度上，沼澤溫度的昼夜波动就几乎消失了。2—3米深度上的溫度年波动比旱地的要小得多。已經查明：泥炭土中溫度的年进程与矿质土不同，而且，不論是冬季和夏季，这种差別都是随深度的增加而增大（图9）。

晴夜，沼澤表面的急剧冷却也促使下层空气的冷却，这引起丰富露水和雾的形成，这种露水和雾一般的說經常在沼澤上被觀測到。草本沼澤之上的空气湿度总是很大；但蘚类

沼澤之上白天的湿度比并排的草甸上的湿度要小，夜間則由于沼澤上空溫度的下降而湿度增大。

沼澤的特殊热性质也表現在它的冻结状况上。因为导热率和热容量小，沼澤中(特別是壠崗和草丘上)蘚类表层很快就变冷了，并在最初的几次严寒(沒有雪)中就形成蘚类冻结的硬壳。但同时湿洼地由于热容量和导热率大，冻结过程开始得較迟而且进行得远为緩慢。在严寒少雪的冬季，壠崗和草丘上的冻结层增长得很慢，因为这一层有碍进一步的冷却。在这样的冬天，湿洼地中冻结层的厚度也与壠崗和草丘上一样。如果积雪很厚，冻结过程迟緩，且經常甚至完全不冻。如果降雪比严寒到临早，那么，沼澤的个别地段，有时是整个沼澤地都处于解冻状态。

春季，在寒冷的沼澤蘚类表面之下可能保持冰的夹层，特別是当沼澤的蘚被表面有些变干的时候。在寒冬之后，这种埋藏冻结层可能保持若干年，特別是如果在这样的寒冬之后跟随着干旱的夏季，其时泥炭的导热率特別低的話。这样的情况甚至在列宁格勒附近就可見到，更不用說冻原了。

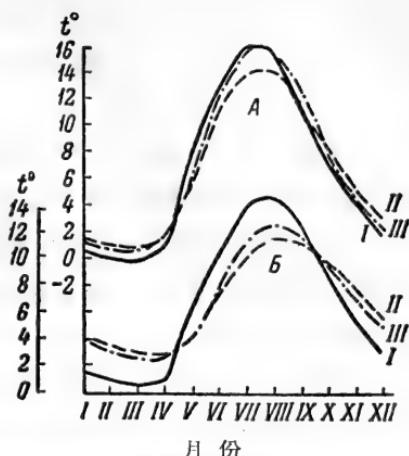


图 9 土溫的年进程(根据 Сапожникова, 1950年)
 I——矿质土； II——疏干的泥炭土； III——未疏干的泥炭土；A-深度40厘米, B-深度 80 厘米。

森林的小气候

森林中有二个或三个作用面：第一个在乔木树冠，第二个在覆盖着地面的草本或藓类-地衣层的表面，如果森林中有稠密的灌木层，那么在灌木树冠的表面观测到第三个作用面。这个或那个作用面的意义随种类组成，乔木树冠的郁闭度而变化，也随灌木层的有无和密度而变化。

高20—30米的密林只能将投射到它表面的太阳辐射的2—3%透过到地面，同时，宽叶林林冠下得到的光线比针叶林冠下多。例如稠密云杉林所能透过的辐射仅占全部辐射的0.7—1.0%。林冠郁闭度的减小能迅速增加透过辐射的数量。在冷半年，这时宽叶林光裸，即使郁闭的林冠也可透过60%的收入辐射。因此，森林中土壤表面增热比开旷地点少的多，特别是夏季，这时森林中土表温度可能比开旷地点低4—5°。冬季，森林中土壤比田间冷却得少，因为森林中雪被的密度较小。因此，森林中土壤的最低温度平均比开旷地点高，而温度的昼夜幅度比后者少30—40%。

森林的影响也表现在较深层的土温上。春季和夏季，森林中的深层土壤比开旷田地较冷，而冬季（12—3月）较暖（图10）。森林中土壤的年平均温度比田野低，年振幅也较小。

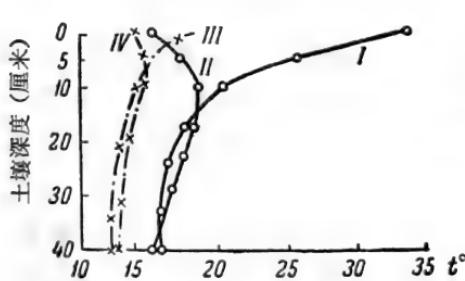


图 10 七月晴天的土温
(根据 Оболенский, 1933 年)

I—13点, 田间; II—21点, 田间; III—
13点, 森林中; IV—21点, 森林中。

由于树冠上风速变化急剧，这里的增温过程往往伴随着颇多的温度微波动(микроколебание температуры)。这些微波动对林内温度的影响很小；而温度的较剧烈的变化由于林中的垂直交换微弱，所以进到森林内部的时间较晚(图11)。森林中的气温夏季比旷地的低，

而冬季較高。林中的年平均气温比开曠地稍低(0.2—0.4°C)。

在有稠密灌木层的情况下，如果有足够的太阳热量透过乔木树冠，那么，白天可能发生两个具有最高溫度的层——在两个作用面上。夜間，这里将是两个具有最低溫度的层。

落叶寬叶林和常綠針叶林的热状况是不同的。在常綠針叶林中，特別在阴暗針叶林中，昼夜溫度的振幅在一年四季变化很小，而在寬叶林和落叶針叶(落叶松林)林中，冬季的昼夜振幅不大，但在春末，当森林开始覆盖着簇叶或針叶时，林中溫度昼夜进程振幅之差比起开曠田地来有显著的增加。

森林中的蒸发由一般数量不大的(尤其是在密林中)土壤蒸发和树冠蒸发(蒸騰)組成。随着森林性质(組成，年齡，郁閉度和結構等)和无林地段植被性质(組成，草群密度等)的不同，森林总蒸发与无林地段蒸发之比可能不同：有时二者相等，有时森林蒸发較大，有时又相反。應該指出，森林所蒸发的主要是較深层次的水分；所以林下土壤的上层一般比曠地中的湿润。

森林內部的空气湿度較高。最大的絕對湿度出現在林冠中(特別是白天)。夏季的晴天，林冠中的湿度可能比开曠地点高3—5毫巴。傍晚，林中的这种丰富水分大大减少，有时甚至觀察到水汽不如开曠地点多的現象。林中的年平均相对湿度比曠地高。昼夜平均相对湿度在森林中比开曠田地和林冠以上的高2—10%，

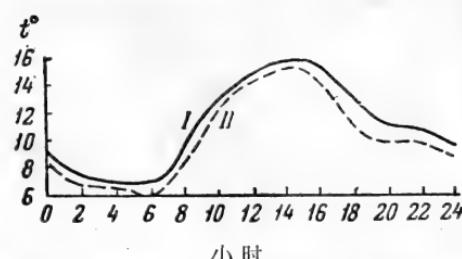


图 11 松林树冠上(I)和林冠下(II)九月溫度的昼夜进程(根据 Гейгер, 1931)

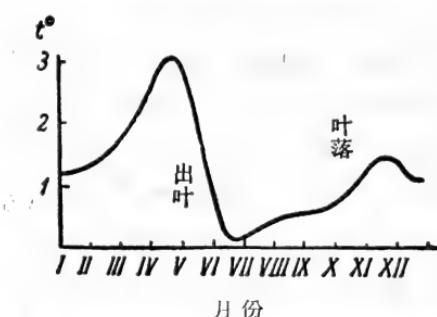


图 12 山毛榉林和松林各月溫度振幅之差的进程
(根据 Гейгер, 1931年)

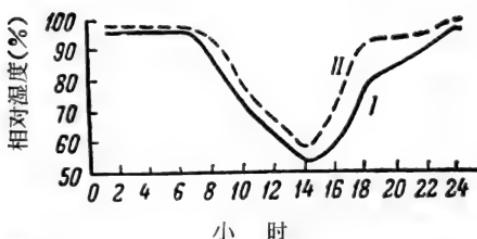


图 13 林冠之上 (I) 和林冠下 (II) 空气相对湿度的昼夜进程 (根据 Гейгер, 1931 年)

只有不大的一部分风流进入森林中。林内风速逐渐消失，同时这种消失过程以风速，林型 (它的組成和結構) 和森林密度为轉移。根据在稠密寬叶林中的觀測，林内距林緣 50 米的地方，风速为初速的 60—70%，在距林緣 70 米的地方——23—27%，距林緣 100 米的地方——7%，距林緣 200 米的地方——2—3%。林地还可降低其邻近开曠地的风速。至于林中风速的垂直变化，那么在森林中，下层以及直到林冠的中部风速几乎保持恒定，仅在林冠的上部，风速才开始增加 (图 14)。寬叶林中的最小风速是出現在簇叶最发达的地方。

在平靜无风的晴天，森林附近觀測到一种特殊的空气环流——地方风 (местный ветер)。白昼，在最强烈增热的林冠的高度上或比林冠稍高一些的地方，气流向森林运行；下面的气流則向反——从增热較少的森林向增热較多的曠地运动。夜間，环流方向向反，并且比白昼的明显得多。

不論以液态形式降落的或以固态形式降落的一部分降水，被树冠所截留并从树冠蒸发掉，因而不能达到土壤。据估計，溫帶緯度上林冠所截留的降水約为 25%，但是，这个数值随林型、林齡和降水强度的不同而有很大变化。此外，森林还依靠雾、雾凇和雨凇

但是，冬季这种差別就減少了 (图13)。

气流在行进道上遇到了森林就上升，到了森林地段的另一面就下降下来。因此，在林緣附近形成涡流。在风速加强的森林上空也有涡流出現。

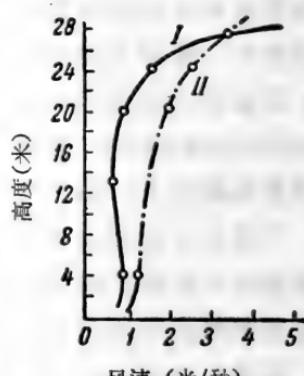


图 14 有叶的 (I) 和光裸的櫟林中风速的垂直变化 (根据 Сапожникова, 1950 年)

的降落而得到一部分附加降水。这些降水特别是在山地中，数量很大，在平原上也有实际意义。观测确定，在苏联欧洲部分中部地带，这部分降水占年总降水量的 10—15% 左右。

森林可以增加它所占据的地域的降水。例如，在沃龙涅什州森林草原地带的条件下，林地一个夏季的降水可能比邻近开曠地多 10—14%。这是由于森林所占据的地域空气湿度大和气温低，因而这里的水汽比开曠地較接近于饱和状态。森林上面降水的增加还由于这里，特别是林緣，乱流比較发达。在与森林相遇时空气的稍微抬升，森林之上特別是林緣之上乱流的加强，有助于空气体质的較强烈的交换，因而导致在森林地区形成附加的凝結水。

森林在降雪和雪暴时使空气运动减弱，因而促使雪在这里呈比較均匀的分布。由于同一原因，林中雪被的密度比曠地小，但积雪深度較大。只有在稠密的云杉林中，雪被的厚度可能比曠地小，因为这里有許多雪是停留在树冠表面，一部分直接由此蒸发，一部分被风吹走。

森林雪被中的水分貯藏通常比开曠地多。在后一种情况下，一部分的雪蒸发了，一部分被风飄到低地和冲沟中。

由于森林在很大程度上阻拦暖空气体质进入森林，所以林中的雪被比邻近的开曠地融化慢得多。在阴暗針叶林中，雪融化得特別晚。就是不大的林間空地和隙地上的雪也同样融化得較慢。例如，在积雪很厚的冬季，列宁格勒近郊雪被的持续期在混交林中是 172 天，在林中空地是 163 天，而在并排的开曠地却是 147 天。

林中空地的溫度与森林中的溫度相比有很大的不同。直径不超过周围树高的小型林中空地，一般保持森林气候的基本特点。在大型的林中空地上，夏季溫度和湿度的进程与低洼地形中的进程相类似。这里观测到溫度昼夜幅度的增大；夜間林中空地的溫度比开曠地点的低些，而湿度則高些；白昼則发生相反的現象。

冬季，在寬叶林中，林中空地和开曠地点的小气候的差別稍微减小。例如，根据在卡贊地区的观测，夏季溫度昼夜幅度的差別是

5.8°C, 但在冬季, 一月只相差 0.8°C。在针叶林中, 这种差别在冬季最大; 2月为 3.7°C, 11月最小——0.7°C。

根据 И. А. 戈尔茨别尔格(Гольцберг, 1949 年) 的资料, 苏联欧洲部分林中空地的晚霜平均比开曠地点晚 11 天, 而初霜早 14 天。因此, 这里的无霜期平均比曠地短了 25 天。

农田的小气候

对土温有很大影响的首先是没有自然草被的裸露土壤。特别是白昼, 土壤的裸露使土温显著提高, 甚至在 5 厘米的深处的土温就可能比有生草层覆盖的土壤高 2—5°C(昼夜平均值)。

一般说来, 在整个苏联欧洲部分, 裸露土壤上层的平均温度接近于气温(相差 1—2°C), 但是, 只是昼夜平均温度才有相对的一致性。实际上, 土温与气温的一致只是在早晨和黄昏。在其它时间, 土壤和空气的热状况就有了差别, 而且, 越是接近土表, 这种差别愈大。

土壤的覆盖物(夏季是植被, 冬季是雪被)对土壤中热量交换的年进程和昼夜进程有很大影响。

通常, 夏季的土温随深度的增加而递减, 冬季则相反, 随深度而递增。夏季, 晴天中午土表温度和 5—10 厘米深度上的温度相差不超过 1—5°C(图 15 和图 16)。阴天, 温度随深度的差别很快拉平了。

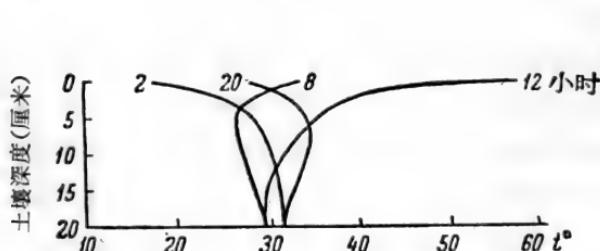


图 15 荒漠条件下土温的变化, 1945 年 8 月 29 日 2 点, 8 点和 12 小时, 可雷斯(根据 Сапожников, 1950 年)

春季, 沙质土比重壤土增热迅速, 因为后者含水分较多, 因此热容量较大; 同时, 一部分热量要消耗于蒸发。夏季沙质土

耕作层的溫度可能比粘质土的溫度高1—3°C。矿质土和泥炭土之間的溫度差別更大。特別在生长季初期,泥炭土比矿质土冷得多。草类沼泽的泥炭土具有不良的导热性,其中的大部分热量消耗于蒸发。蘇类沼泽表层的导热率不大,而下层的热容量也不高,因此,这种沼泽表面的蒸发很少。

耕作性质对土溫表現出影响。在壟耕或畦耕的情况下,土壤增溫比較剧烈。壟上的土溫一般比平地的高1—2°C。

土壤表面植被的存在使田間小气候发生重大的变化。播种后出苗前的初期,耕地的小气候与秋耕休閑地的小气候沒有差別。出苗以后,随着幼苗的成长,具有不同播种作物的田間的小气候就开始彼此不同了,因为每一种作物都有它自己的特殊小气候。

随着草群的发育,植物表面就成为作用面了,因为它吸收投射来的辐射;而且把所获得的热量进行分配,把它传递給空气和下面

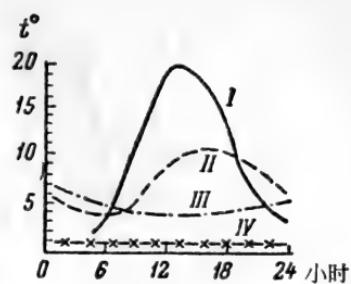


图 16 列宁格勒州巴甫洛夫斯克夏季沙质土不同深度上的溫度昼夜进程 (根据 Сапожников, 1950 年)

I—1厘米; II—10厘米; III—40厘米; IV—80厘米。

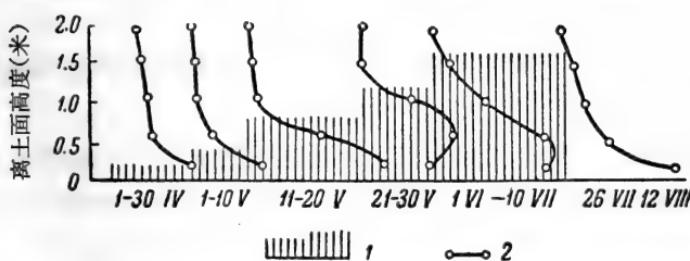


图 17 在黑麦的不同高度情况下,黑麦播种地和未播种的空地上正午气温的分布(7月26日—8月12日) (根据 Гейгер, 1931 年)

1—黑麦高度; 2—1°C的溫度变化。

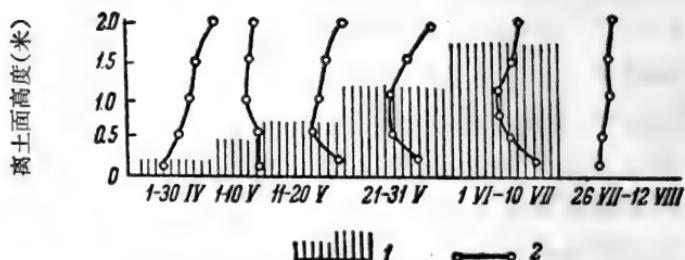


图 18 在黑麦的不同高度情况下, 黑麦播种地和未播种的空地夜間气温的分布(7月 26 日—8月 12 日)(根据 Гейгер, 1931 年)
1—黑麦高度, 2— 1°C 的溫度变化。

的土壤(图 17)。这种表面也放出热量, 并且因而夜間冷却最甚。在这样的情况下, 首先是土壤溫度状况发生变化: 土壤中的总热量减少, 溫度的昼夜变动幅度降低(图18)。

作物的反照率(下垫面的反射能力)不同, 不同的吸收太阳輻射的能力, 以及草群密度的差別, 所有这一切使各种大田作物草群中和草群之上的溫度状况产生很大的差异。这种差异对消耗大量热量的蒸发有很大影响。

最高和最低溫度出現在草群的上面部分。在秋季夜間冷却的时候, 可能出現下列情况: 土表和土表以上 2 米处的溫度不低于 0°C , 但植物却經受了霜冻。

空气的絕對湿度以植被表面的为最高; 这里的蒸发值最大, 因此, 这里空气中为水汽所丰富。

夏季, 植被内部空气的相对湿度在正午比 2 米高处的相对湿度高 20—30%。

播种地中的风速也发生改变。这种变化依賴于植物的高度和它們的密度。С. И. 涅波里辛 (Небольсин, 1922) 在燕麦播种地的不同高度上以及它們上面所进行的觀測表明: 当燕麦的高度为 55 厘米时, 如 2 米高处的风速是 1 米/秒, 在 50 厘米的高处已經完全靜寂; 1.4 米/秒的风在 25 厘米的高处靜寂下来, 而 2 米/秒的风在距地表 15 厘米的高处平靜下来了。

水体对小气候的影响

湖泊和大型水库滨岸的小气候

陆地和水体的增热和冷却条件的不同，水陆表面蒸发的不同，它们表面糙度的不同同样造成小气候的很大差异。

不仅温带地方的，而且热带地方的水体都比陆地温暖。只有位于非常干旱地区的湖泊，由于水面蒸发强烈，其年平均温度比四周陆地要低。草原地带的水库也是如此，例如齐姆梁斯克水库和斯大林格勒水库，它们夏天的温度就比邻近它们的陆地低1°C。

水体影响周围陆地小气候的距离依赖于水体的大小、深度、滨岸性质以及天气条件。水陆微风环流是促进水体影响陆地滨水地区的因素之一。

夏季水面和陆地温度昼夜进程的差异导致了这两种表面之间的水陆微风环流。白昼的水陆风从水面吹向陆地，夜间则从陆地吹向水面。水陆风不仅见于海上，而且见于大型湖泊和河川的岸上，例如拉多加湖岸上和伏尔加河上。但是不大的和较小的水体，只有在滨岸平坦，平缓或坡度不大的情况下，才能对内陆的沿岸地带，不超过2—5公里的范围内发生影响，而且，这种影响仅在离岸0.5—1.0公里的距离内有明显表现。如果有沿湖岸伸展的高地存在，即使是大湖（如象拉多加湖），这种对小气候的影响在最近一个丘陵的后面就已觉察不到了。

水陆环流对温度和相对湿度的昼夜进程有极其强烈的影响。由于水陆风，白昼的最高气温减低。傍晚，温度开始下降，但在白昼的水陆风停止之后，温度可能又稍有回升。白昼的绝对湿度几乎不增加。根据观察，北方水体沿岸的相对湿度要增加百分之几，而南方的要增加到10%。

在晴朗无风的夜里，由于水陆风，陆地上下层空气得以很好地混合，从而减小了夜间最低温度。因此，水体沿岸，通常没有霜冻，

或者大大减弱。

夏季,水体很好地增热,并且长期将热保持,因此,沿岸的无霜期比远离水体的地方多2—3星期。在大湖中的岛屿上,无霜期几乎延长一个月。所有这些情况对北方大型湖泊的滨岸和岛屿特别重要,因为许多农作物可以向北移往这些地段。

人工水库由于深度不大,对沿岸温度的影响比天然水体小。例如,雷宾斯克水库对其四周岸上那些地点的温度没有影响。但是,由于低洼地段的潜水上升,致使土壤强烈湿润甚至过度湿润,夏天引起土温的下降,在个别地段甚至引起沼泽化。

草原地带水库的影响带有局部性,例如,对沿岸地带温度的影响在离岸3—5公里的地方就已消失了。

在干沟和小河谷上筑坝修成的不大的人工水库常常能消除冷气流对附近田地的有害影响。

植物丛生的浅水湖上层水温与水上气温的特性

这里的温度进程不仅依赖于收入的太阳辐射热,而且还依赖于通过辐射和蒸发损耗的热量。此外,水和空气之间的热量交换以及水和水体底部之间的热量交换也起作用。在近岸处和水体的浅水部分,底部的影响特别强烈。由于水中的强烈交换过程,底部的影响一直达到水面。

在浅水湖中,丛生的植物强烈地影响水温。例如,在不深的(深度50厘米左右)但植物丛生的湖泊中,晴天距水面1厘米深处的温度昼夜幅度在10°C左右,但在40厘米的深度上,只有4°C左右。在同样性质的,但没有丛生植物的湖泊中,就是阴天,水面的温度幅度也在12°C的范围内变动。这种差别是由于植物丛生湖泊的水面被遮阴和水体本身的微弱交换。

如果要追溯植物丛生的湖泊中水温随深度的变化,那么可以发现:傍晚,由于底部放出热量,所以底部附近的水开始增温,但上层的水这时却已发生冷却过程。白天,由于太阳辐射透过水层,

以及由于增溫較多的邊岸的熱傳導，水體底部獲得最大量的熱，在16點左右觀測到的底部最高溫度說明了這個事實。

沒有植物叢生的水體的水面附近的氣溫比植物叢生的湖泊要稍高些，這是由於後者的水面被植物強烈遮蔭，但是在草群的高度氣溫比沒有植物叢生湖泊的同一高度的氣溫要高，因為，大量的太陽熱被草群表面所吸收，然後又被它放出。傍晚，由於植被的強烈輻射，這裡的溫度比沒有植物叢生的湖泊之上同一高度上的低些。冷卻的空氣沿着草莖下沉，因此這時就是在被植物遮蔭的水面附近的溫度也比開曠水面的低得多。

在植物叢生湖泊的近岸處，水深10厘米左右的地方，溫度的分布情況與陸上草本植被中的溫度分布情況相似。這裡的水不流動，它的表面與同樣條件下的陸地表面類似。

河漫灘小氣候

河漫灘的小氣候與不閉塞的、而有氣流的低洼地形的小氣候相似。夏季，河漫灘上的昼夜平均氣溫比高岸上的低1.0—1.5°C，而空氣濕度高10—20%。由於潛水埋藏不深，而雪被深度比高岸上的大的多，所以在冬季這裡150厘米深處的土溫比河漫灘以外的高1.5—2.0°C，夏季，河漫灘這一深度上的土溫則低1.5—2.0°C。河漫灘的土壤凍結深度比基岸的淺。

沿河漫灘吹的風由於氣流受到狹束而比高岸的風強烈。風橫過河漫灘吹時就要減弱或者在河漫灘中完全消失。風向以一定角度與河谷斜交時，就要稍許改變自己的原來方向。

灌溉地區的小氣候

人工灌溉造成與周圍環境顯然不同的特殊小氣候條件。由於蒸發增加，土溫就大大降低，從而，近地面層氣溫也大大降低。如果灌溉面積小，那麼灌溉地段上的氣溫在土表以上2米的高度上

已与周围地区的溫度相等，同时白天在灌溉地段上空形成溫度逆增。在人工灌溉面积很大的地区，甚至超过 2 米的高度，气温还比周围非灌溉地段的低得多。在中亚的綠洲中，夏季 2 米高度上的溫度比荒漠中的低 3—4°C。傍晚，当风力减弱，但蒸发还是繼續的时候，出現最低溫度。灌溉地和非灌溉地土表溫度的差別特別大，可以达到 30°C。

在灌溉地段，空气的絕對湿度和相对湿度都增高。七月，灌溉地段和非灌溉地段絕對湿度的平均差值可以达到 3—5 毫巴，而相对湿度——6—8%。

灌溉地段和非灌溉地段的气温差异造成地方性的空气环流，在綠洲和荒漠之間这种环流特別明显。灌溉地段(綠洲)的比較冷的空气流向非灌溉地段(荒漠)。在反气旋的天气条件下，整个昼夜期間都有这种环流，因为灌溉地段上的降低的溫度不仅在白天出現，也在晚上出現。

在晴朗干燥的天气，灌水后最初几天的小气候要素变化特別强烈，随着土壤的干涸和蒸发速度的下降，变化的显著性漸漸緩和。灌水以后經過几天，1.5—2.0 米高度上的溫度和湿度与非灌溉地段的差別就开始消失。

觀測表明，无论在灌溉产生最大效应的荒漠中，或者在灌溉能保証每年有稳定产量的森林草原地帶，在灌溉的影响下，小气候都有显著的改善。

还應該記住，在有多余热量可以用于蒸发的地方灌溉是有益的。如果热量不足，那么灌溉在造成过度湿润的同时，甚至将吸收沒有灌溉时所儲存的不多的热量，因而縮短生长期，可能引起某些作物的不能成熟。

小气候研究方法

基本知識

为了研究小气候，必須組織專門的觀測，这种觀測是不同于全国气象站网的觀測的。

气象現象的綜合体非常复杂而且多种多样。气候与其它自然地理因素之間的相互作用也是很复杂的。小气候的現象还要更为多种多样。由于这个原因，不可能对地表每一地段进行研究，也不可能以直接的觀察遍及全部谷地、林园、斜坡、綠洲和其它地段。由此可知，小气候工作可以只限于非常仔細地研究在某一典型地段（例如在該大小和周围林型条件下的典型林間空地，一定坡向和坡度的斜坡等等）的地理条件中所发生的全部过程。从这种研究中所得出的結論可以引伸到其它地域的类似地段。为此，研究者必須首先明确研究的主要对象并从而提出自己的一定任务。根据提出的任务选择觀測時間，觀測員的人数，有关的仪器和进行工作的方法。

研究任务之所以必須明确安排还由于，小气候觀測通常是在一定季节和一定時間內进行的。

由于研究小气候不需要获得长期的一系列的觀測資料（这种資料可以闡明該景觀地段气象要素的最精确特征），所以應該在短時間內得到不同天气类型情况下的一系列觀測資料，以便仔細分析被研究的有限地域的不同地段的小气候特性。

所有讀數的詳細和正确以及記錄的准确是进行任何觀測，特別是小气候觀測的基本条件。为了使觀測資料便于比較，进行觀測應該使用同一类型和經過校正的仪器。由于小气候觀測的期限一般不长，所以必須使有可能，对比在各小气候觀測点所获得的結果和研究地段附近各长年觀測站的結果。

在小气候觀測期間，有时天气条件与当地的正常情况可能很

不相同,这时,为了确定所获得一般的說有多大的典型性的資料,必須利用附近长年工作的气象站的同时觀測資料。

小气候研究的組織

由于小气候研究的目的和任务不同,研究的組織也可能不同。

1) 在許多情况下,根据常年气象站的觀測資料,可以了解气候的地方特性。例如,要是气象站位于广闊林間空地的中心,那么,这个站就能足够完全地代表与开曠地点(那里分布有其它的长年气象站)相比較的这个空地的气候特性。甚至根据月平均数据,也可以发现林間空地与开曠田地的溫度和湿度状况的差別以及风速和风向的差別。如果在研究地区沒有常年站,就必须組織临时的觀測站。将这些站的觀測結果与附近常年站的同时觀測結果进行对比。

2) 如果必須在較短的时间內将觀測遍及頗大地域,就要組織汽車觀測。为此,可以利用很好地防护不受太阳輻射影响的慣性小的自記气象計类型¹⁾的專門自記仪。为此目的同样可利用專門的装置,例如摄影記錄装置,每隔一定時間,通风干湿球溫度表的讀數就会拍摄下来。在研究地域的一定典型地段还可以从汽車上下来利用輕便仪器进行觀測。只是在这种情况下須要将获得的数据与研究地域內附近一个气象站仪器上同一時間的讀數进行比較。在整个研究期間,这个站的自記仪器应在进行汽車觀測的相应高度上进行工作,或者每隔半小时記錄这一高度上仪器的讀數。

3) 为了全面研究具有不同景觀条件的較大地域的小气候,应組織称为“联合站組”(Kyct)的整組的临时觀測站。这些临时觀測哨或者分布在常年站的周围,或者分布在研究該地域小气候时專門組織的气象站的周围。如果有常年觀測站,那么它的工作計劃中就应包括在觀測哨上进行的那些時間的觀測,并且要采用觀測

1) 同时記錄2—3种气象要素(例如压力、溫度和湿度)变化情况的仪器称为自記气象計。

哨所采用的同样的仪器。如果是临时气象站，那么，除了与观测哨相类似的观测以外，还应该在长年站进行观测的时间用长年站所采用的那些仪器同时进行观测。在这个站上同样应有自记仪工作。

联合站组的观测哨这样分布，使得它们包括一切典型的和从实践观点看来是重要的景观条件（各种植被类型）。例如，为了研究地形对小气候特性的影响，就要依靠位于平地上的常年气象站，或者在这样的地点设立临时（控制）观测站。在浅凹地中，在不同坡向的斜坡上，在高原状的地段等等设立临时观测哨。为了研究森林对小气候的影响，就要在森林影响之外的开旷地点选择或设立控制站，而在具有不同林冠郁闭度，不同性质的灌木层和其它层的各种性质的森林植被地段组织临时观测哨。

小气候哨的观测结果应与控制站的同时观测结果进行比较。联合站组的各小气候哨的气象要素数值与控制站的差别即代表不同景观地段以及各个地段之间的小气候条件的特征。

如果不仅要求知道被研究的景观地段（植被类型）的小气候要素的差异程度，而且要求知道各要素的绝对数值的话，那就要把在临时控制站上观测所获得的数值与附近观测年限很长的气象站的数值进行对比。在这种情况下，这个站最好是在景观条件与联合站组的控制站相似的地段。这样的对比，不管是一定时间的平均值或是具有不同天气性质的个别日子的数据，都使我们有可能较准确地评定被研究地段（植物群落）的气候。所获得的差值在相应整理的情况下，可以推广到一年中的不同季节，用以一般地鉴定联合站组的各观测哨所在地的气候条件。

最准确的结果是在进行小气候观测的全部地点都遵守研究的同时性的情况下才能获得。但是，为了这个目的需要有大量的观测员，而这不是经常能办到的。

4) 如果研究者所掌握的观测员人数不多，仪器数量有限，那么，可以通过所谓路线小气候观测来进行小气候研究。为此，在研究地域的平坦开旷地点组织一个临时控制气象站，按照常年气象站的观测计划进行观测，并具有补充设备，借助于组织这种控制站

計劃在路綫觀測點上進行觀測。在研究地段的不同部分，根據提出的目的和任務，設立一些標點，觀測員按這些標點可以找到該觀測點。在預定的時間內，觀測員帶着儀器，順序走遍規定的各個點，根據規範進行觀測。

這樣的路綫可以順着能使觀測者返回起點（控制站）的曲線來完成，也可以順着直線走，以便來回都能在同一的各點上進行觀測。如採用這種工作方法，對於同一個觀測點必須獲得不同天氣條件和不同鐘點的一系列資料。在路綫觀測的時間內，控制站應在同一時間進行象在路綫觀測點上進行的同樣的觀測。

控制站的任務是收集評價當地一般氣候條件的資料，查明研究期間天氣條件與根據附近氣象站多年觀測資料所確定的當地平均天氣條件的關係。

觀測的組織

在進行小氣候觀測的時候，要研究各個景觀要素（特別是植被）對氣象數值的制約性。應該研究地理座標，地點高度，地形態，土壤和植被性質，並且考慮到它們的動態加以記載。上述景觀要素可以從它們對被研究的小氣候要素的影響的觀點加以記載，也可以從氣候對它們的可能作用的觀點加以記載。為了理解被研究現象的原因和物理實質，為了能把獲得的結論推廣到其它類似的地域，這種描述也是必要的。

自然地理因素的評定可以是描述性的和圖解性的（圖式，剖面，平面圖，地圖，照片等）。其中務必包括不論是進行研究的樣地本身，或是樣地周圍地方的地形、土壤、植被特性的記載。所有距離和面積都應以米和厘米表示。樣地位置的高度一般借助於氣壓計高程測量來確定。必須在整個觀測期間注意記載天氣條件的變化。

小氣候指標密切依賴於觀測的鐘點，也密切依賴於雲量、雲的性質以及其他天氣條件。當這些條件改變時，小氣候指標不但改變數值，而且還可能改變正負號。例如，溫度和濕度分布的差異是在

晴朗无风的天气表現得最强烈。大风时,这些差异迅速减少,特别是随高度的增加而减少。与风状况相联系的小气候状况則相反,在风速最大时表現得最显著,如象在雪被的搬运和堆积时所観測到的那样。因此,为了估計这一切的影响,観測必須在不同天气条件下进行。

由此可見,进行小气候観測时,必須作天气日志,系統地記載見到的和感到的一切变化。在整理資料时,这种日志非常有用,許多驟一看去不易理解的小气候要素数值的变化将可以用天气条件中的这种或那种改变去解释。

観測時間

为了使获得的資料能与常年气象站的資料进行对比,控制站應該在几个主要气候時間——当地平均時間1点、7点、13点和19点进行系統的観測。在固定観測哨或路綫観測哨进行小气候観測的那些日子里,控制站应每隔2小时観測一次,但这些観測時間务必包括主要時間(1点、7点、13点和19点)。

由于地方条件主要是影响气象要素的昼夜进程,为了便于对照,控制站最好是有自記仪器——日轉自記溫度計和日轉自記濕度計。連續記錄的优点是:根据这样的記錄很容易确定小气候特征表現最突出的时间,只靠定时観測,这一点是不可能查明的。

在稳定的晴天条件下,應該作每隔2小时的整昼夜的観測,同时这里面应包括主要観測的各个钟点。在固定観測哨或路綫観測哨通常是从日出到日落这段时间每隔2小时観測一次。在相应的天气条件下,这里还必須与控制站的観測同时每隔2—3天进行整昼夜的観測。如果因観測員不够而不能作到,而且一个観測員須照顾两个観測哨的話,那么,可以在其中一个観測哨进行偶数钟点観測,而另一个哨进行奇数钟点観測。当必須将获得的資料与観測年限很长的气象站的資料对比时,在任何情况下必須坚持根据観測地点經度所确定的当地平均時間。如果観測的目的只是为了得到

两个或若干个地段的比較小气候特征，那么进行觀測的時間就可以用民用時間。在这种情况下，如果要查明最高最低溫度，就应在日出（为了确定最低溫度）时和当地平均時間 14—15 点（为了确定最高溫度）进行觀測。这些時間之所以比較方便还由于 $\frac{\text{最高溫度} + \text{最低溫度}}{2}$ 的数值与整昼夜觀測得出的昼夜平均溫度非常接近。

野外小气候觀測的持續時間

进行野外小气候觀測所必須的持續時間很难准确地規定。全部依賴于天气条件，天气条件不是預先可以估計的。

在綿雨日子里，以及在大雨之后，小气候数值对研究地段并沒有代表性。在这样的天气条件下，觀測哨的觀測和路綫觀測最好都不进行。不过控制站即使在这样的日子还应在 1 点、7 点、13 点和 19 点进行系統的觀測。

在有利的天气条件下，例如在稳定的晴朗天气，要得到稳定的小气候鑑定，2—3 天時間已够。但是，为了全面地鑑定研究地段的特征，还必須在阴天和云量多变的日子各进行 2—3 天以上的觀測。

如果觀測時間較长，例如 3—4 星期，那么可以获得各个地段的稳定差异，并从而获得比較确切的特征鑑定。但是，有这样的情况，較长期的觀測往往不能訂正結果，例如，如果天气条件非常不稳定和很快地发生变化的話。有时，在很长的觀測時間內甚至选择不出三天，以便在一定性质的天气情况下获得小气候差异的鑑定。

用于小气候觀測的仪器

供小气候觀測的仪器應該不要笨重，并且使用时不破坏下垫面自然覆盖（植被）中的条件。

目前，專門小气候觀測采用的是所謂遙測仪器，其接收部分是

安放在被研究的条件中——草群中、树冠上、离地面各种高度的专门架杆上。把仪器安装在架杆上使观测员有可能在离地表4、6、8米甚至15—17米的高度上进行观测。在架杆的各种高度上安置电阻温度表的接受器、温差电偶(термопара)或热变电阻器(термистор)(半导体温度计)。这些温度计的读数根据离架杆12—15(最好是30)米处的电流计量出。电传风速表也固定在这些架杆上,这些风速表的读数记录在自记仪的一根普通纸带上。自记仪安装在离架杆12—15米的地方,在其上同时进行7—8个高度上的风速的记录(图19)。这种装置只用于专门的研究并要求熟练的观测员来操作。

大量的小气候观测是用较简单的机械仪器——普通通风干湿球温度表,手提风速表和不同类型的温度表来进行;也采用一些自记仪器。机械仪器的主要缺点是,记录读数时必须靠近仪器跟前,以致草被受到践踏,从而引起所获得的读数的误差。为了保证草群的完整,观测员应永远沿着同一路径走近仪器。然而,仪器下面的草群将来仍然会受到破坏,因此,安装仪器的竿子应定期地挪到另一个草群未受改变的地方,但不宜距原来地点很远。在观测记录簿上必须记载测竿的挪动情况。

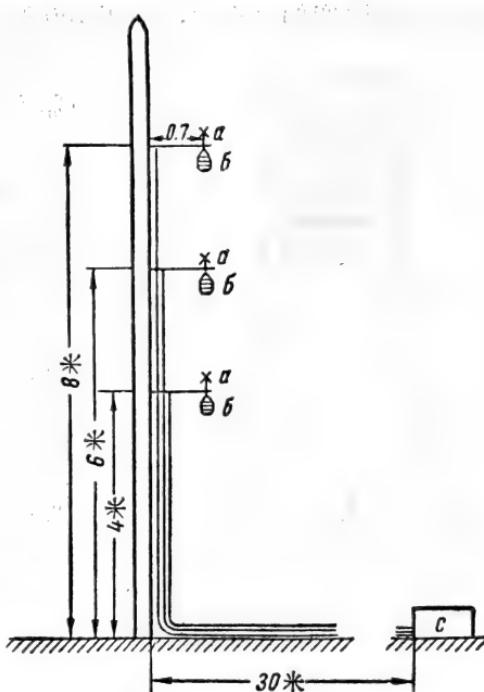


图19 梯度观测架杆(原图)
 a——电传风速表; б——保护装置中的电动干湿球温度表;c——风速自记器和设置在保护装置中的干湿球温度表的读数器。

控制站的装备

在控制站上應該在普通(图 20)或簡式气象百叶箱內裝設自記仪器——日轉自記溫度計,日轉自記濕度計。通常在气象站上觀測是在 200 厘米的高度上进行。但由于 200 厘米和 150 厘米高度上的溫度和濕度相差不大,而在 150 厘米高度上进行觀測可以不

用梯子,所以在野外可以把仪器安装在 150 厘米的高度上。

这个高度与中等身材的人的視綫水平相当。在野外控制站,放自記仪器的百叶箱应装在 150 厘米和 50 厘米的高度上。气温和空气湿度的定时觀測,按照地球物理总觀象台的建議,可利用安装在 150 厘米, 50 厘米和 20 厘米高度上(图 22)的阿斯曼干湿球溫度表(图 21),但是根据工作的目的还可以采用别的补充高度,例如草群的高度。

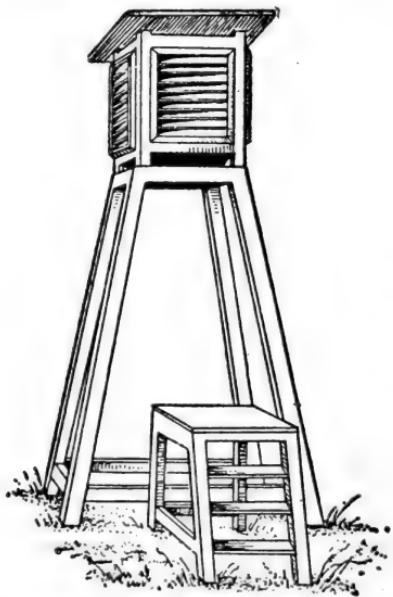


图 20 气象百叶箱(原图)

200 (或 150) 厘米高度上的觀測对任何研究都是必要的,因为可以把这一高度上的气象指标与长期觀測气象站的資料联系起来。

安置通风干湿球溫度表可以用一根或两根竿子。其中一根竿子的直径 5 厘米左右,高 240 厘米左右,竿子埋入土中約 50 厘米,使露出地面的高度为 190 厘米。干湿球溫度表安放在水平的位置,使溫度表的球部位于地面以上 20, 50 和 150 厘米的高度。为此,干湿球溫度表用結实的細绳悬挂在釘在測竿的釘子上,绳的一端系在仪器的頸部,另一端系在仪器的喇叭口上。为使干湿球溫度表保

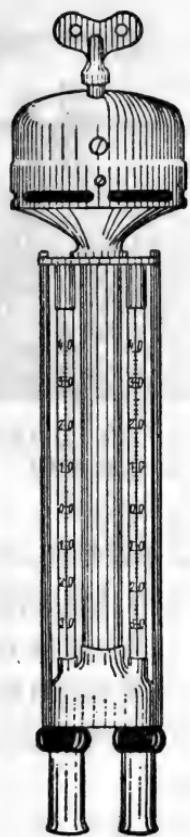


图 21 阿斯曼通风干湿球溫度表(原图)

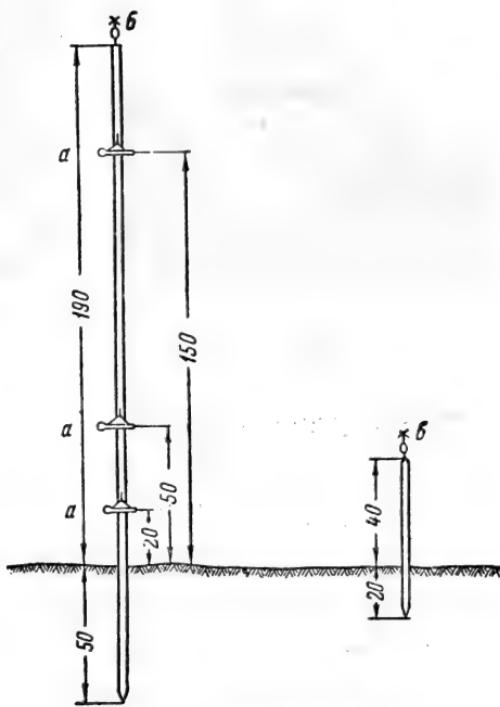


图 22 仪器装置示意图(原图)
a——通风干湿球溫度表；6——手提风速表。

持水平位置(图 23, 图 24), 绳上要作一活結。也可以在測竿的各相应高度上作小架, 把干湿球溫度表平放在架上; 这样安置的仪器比較稳定, 就是有风的时候也不会搖摆。也可以不把 3 个干湿溫度表挂在一起竿子上, 它們之中的一个可以利用离第一竿子不远的另一根測竿。安放干湿溫度表时, 保护溫度表球部的管子的喇叭口應該朝向风吹来的方向, 但必須注意, 不能让太阳光綫照进口內。

手提风速表(图 25)安置在离土表 50 厘米和 200 厘米的高度上。在后一情况下通常利用悬挂干湿球溫度表的那根竿子。为了在 50 厘米高度上安置风速表单独利用一根長約 60 厘米的竿子,



图 23 在黑麦地中，通风干湿球溫度表，风速表和特列吉雅科夫风速計的裝置(原图)



图 24 在草甸上，通风干湿球溫度表和土溫表的裝置(原图)

把它埋入土中 20 厘米(图 22)。竿子的上端削成鈍圓錐形，在其頂部钻一孔眼以便风速表的螺絲釘旋入。把頂端削成鈍圓錐形是为了减少风速表附近气流的旋涡。第二根竿子与第一根竿子相距 3—5 米，联結两根竿子的直線应与风向垂直。不觀測的时候，风速表不宜放在风中，因为这样要縮短仪器的寿命。在觀測之后，或者把它們卸下来，或者用專門的厚紙护罩蓋起来。

在竿子的頂端，在 200 厘米高度上的风速表的底部，系上一根輕巧的带子——风向旗——用以判定风向。在竿子的基部附近，地面上应放一个手持罗盘仪，以便測定水平地面的方向。也可以环繞竿子基部設置 8 个有方位标记的木桩。

在控制站上觀測风速和风向也可利用特列吉雅科夫风速計(图 23 和图26)，借助于这种风速計立刻确定 200 厘米高度上的风速和风向。但这种风速計也有不便之处，因为在 50 厘米的高度上不能用它，而为了对比觀測的結果，后者應該尽可能采用同一类型的仪器。此外，采用手提风速表比采用风速計觀測的精确度要高。

在控制站上测量降水量应設置雨量器(图27)或最好設置具有防护的特列吉雅科夫降水量器(图 28)；这样有可能对比研究地段的降水量和长年气象站上同时测定的降水量数值。

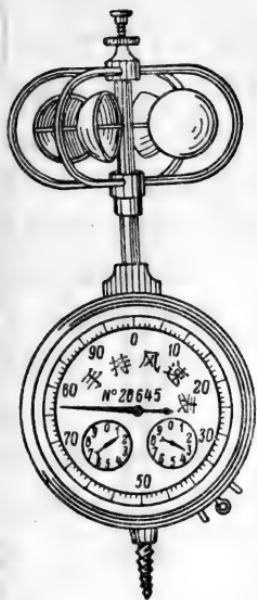


图 25 手持风速表(原图)

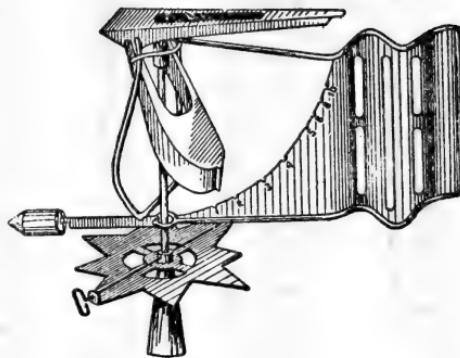


图 26 特列吉雅科夫风速計(原图)

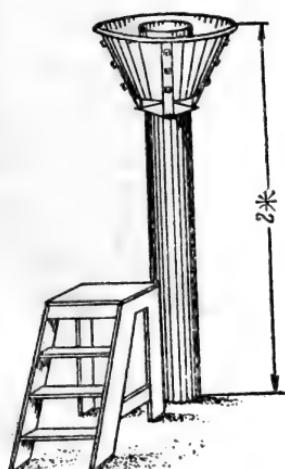


图 27 雨量器(原图)

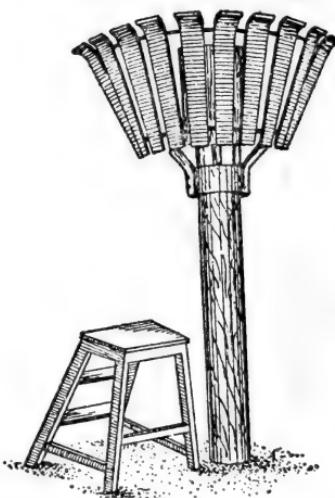


图 28 特列吉雅科夫降水量器(原图)

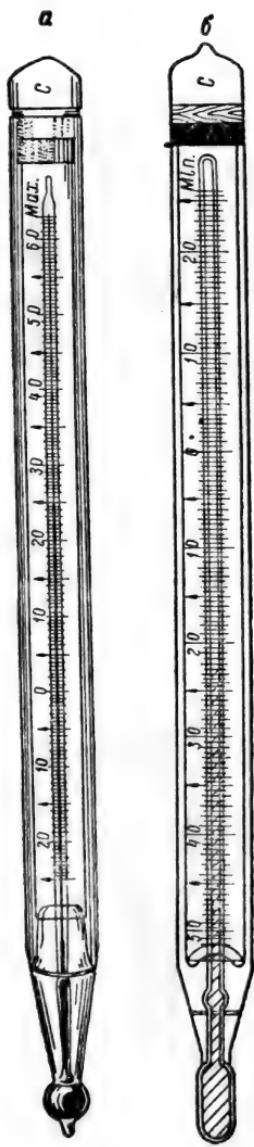


图 29 最高(a)和最低(b)溫度表(原图)



图 30 沙維諾夫土溫表(原图)

在控制站的一个沒有植被的裸露的地段上，在地表安置溫度表(定时溫度表，最高溫度表和最低溫度表，图 29)和在 5, 10, 15 和 20 厘米的深度上安放沙維諾夫土壤-土質溫度表(图30)。所有这些溫度表都应按照气象站的規范安置，以便有可能对比所获得的資料与长年气象站的資料。

但由于小气候数值的主要差別依賴于下垫面的性质，所以在控制站上必須在典型的自然植被中設立第二套土壤溫度表。在这种情况下，必須小心地把沙維諾夫溫度表放入土中，尽可能不要破坏自然植被。为了不踏坏溫度表周围的草，应采用輕便的小木桥，在観測之后便立即拆除。

除上述溫度表外，晚上还应在离土表 2—3 厘米的高度上安放一最低溫度表，因为正是在这一层出現最低溫度。

路綫観測点(哨)的装备

如果観測哨位于仪器可长期放置而无损坏危险的地方，同时仪器数量足够的話，那么这里就应安装控制站所安装的同样仪器。这里沒有自記仪器和测量裸露地土溫的溫度表也完全可以对付。如果仪器不够，为了进行観測必須把仪器和竿子一起从一个哨搬到另一哨的話，那么，局限于两个干湿球溫度表(而在万不得已时甚至一个也可以)和一个风速表也就可以了。当然，如果在这里仪器可以保全无損，每个観測哨最好能在自然下垫面上安置一些土壤溫度表。万不得已时，早晨應該在土壤上放置最高溫度表以测量最高溫度。傍晚記錄該溫度表的讀數，然后把它拿开，換上一个最低溫度表，在次日早晨进行記錄，然后再換上最高溫度表，余此类推。

如果必須在路綫観測哨获得关于降水量的数据，那么可以利用田間雨量計。这是一个玻璃圓筒，它的上部扩大。圓筒上有相当于 1 毫米降水层的刻度。为了减少雨量計中雨水的蒸发，筒上装有漏斗。雨量計安装在木制或金属支柱上，其上沿应在离土表

200 厘米的高度上。

觀測程序

1. 自記仪器紙帶上的讀數一昼夜記錄 4 次, 即在當地平均時間 1 点、7 点、13 点和 19 点觀測, 在讀數之後立即記錄。

2. 在讀完全部其它仪器的數字之後, 讀土壤溫度表。

3. 在三种仪器都具备的情况下, 干湿球溫度表的讀數按下列次序進行:

(1) 从位于 20 厘米高度上的最下一个仪器开始, 然后 50 厘米, 最后是 150 厘米高度上的仪器, 順序浸湿湿球溫度表和开动干湿球溫度表的通风器发条;

(2) 浸湿后 3 分钟, 按(1)的同样順序第一次讀各干球溫度表和湿球溫度表; 并立即記下讀數;

(3) 第一次讀數之後, 再按同样順序开动干湿球溫度表, 过两分钟后, 进行第二次讀數;

(4) 如天气晴朗干燥, 在第二次讀數記下之後, 象在第一次讀數前一样, 重又浸湿和开动干湿球溫度表, 过 3 分钟, 进行第三次讀數; 在阴湿的天气条件下, 就不进行第二次浸湿湿球溫度表了。

4. 有两个干湿球溫度表时, 一个装置在 150 厘米的高度上, 另一个根据研究任务的要求装置在 20 厘米, 50 厘米, 或甚至草群的高度上; 在这种情况下, 讀數的順序同上, 即浸湿和开动发条都从下面的仪器开始。

5. 如只有一个干湿球溫度表, 讀數程序如下:

(1) 将干湿球溫度表悬挂在 50 厘米或 20 厘米的高度上, 浸湿, 开动发条, 經 3 分钟后, 讀溫度表上的度數; 然后再开动发条, 經 2 分钟, 进行第二次讀數;

(2) 把干湿球溫度表轉挂在 150 厘米的高度上, 在晴朗干燥的天气, 把它浸湿(在潮湿多云的天气不必浸湿), 开动发条, 过 3 分钟, 讀數, 然后重新开动, 第二次讀數, 又重开动, 2 分钟后第三

次讀數；

(3) 重又把干濕球溫度表挂在 50(20) 厘米的高度上，在这里再照(1)的順序进行讀數。

如果要用一个干濕球溫度表在全部 3 个高度上 都能 进行觀測，那么程序應該是这样：首先把干濕球溫度表放在最低的高度上，然后放在中間的高度上，最后放在最高的高度上；然后又把它悬挂在中間的高度上，在这以后，在开始进行讀數的最低的高度上結束最后一次讀數。浸濕和讀數的順序应按(1)，(2)和(3) 所規定。

6. 风速表指針示度的第一次預讀必須在仪器安装在竿子上时記錄下来，这时应关闭轉數計數器。可以在开始进行全部觀測之前把风速表的計數器打开。开計數器的順序是先开 200 厘米高度上的，然后 100 厘米高度上的。經過 10 分钟(如风速很大，5 分钟就够了)后，按同样順序关上計數器。讀數和記錄計數器的示度可在任何空閒的時間內进行。

7. 在对干濕球溫度表进行讀數之間的空閒時間，必須記錄按风向旗的风向，云量和云状，土表状况及其湿度(目測)，草被状况。还應該用符号表明日照程度。

在进行觀測时，太阳盘的状况用下列符号表示：

- ²——太阳完全露出，物影清楚；
- 太阳为薄云所遮盖，物影微弱；
- ⁰——太阳微弱地透过云层，沒有阴影；
- Π——完全看不見太阳。

在夜間，用同样的方式記下月照的情况，同时根据月象盈亏記下下列符号之一 (标示的意义与太阳符号相同)。因之，在滿月时：

- ²——月亮完全露出；
- 月亮为薄云所遮盖；
- ⁰——月亮微弱地透过云层；
- Π——沒有月亮，或看不見月亮。

为了使結果准确，上述的一組觀測应重复一次。第一次在觀測時間之前 10—15 分鐘內开始，第二次重复在觀測時間进行；这样，就可以把从全部讀數中所获得的平均值准确地列入一定的觀測時間。

讀數之后，一定要把干湿球溫度表取下并放入箱內，以免晒热。风速表可用罩子罩起来。

无论在控制站，或者在路綫觀測哨，降水量一昼夜觀測两次——在 7 点和 19 点。

觀測的記錄和整理

控制站和每个小气候觀測哨都应有单独的觀測記錄簿。为了获得最准确的結果，建議不論在控制站或每一个觀測哨都始終用同样的仪器进行觀測。

附录中（見附录 I, II）引用了根据在控制站和觀測哨上的觀測的讀數記錄及其初步整理的野外記錄簿的样式。記錄簿中包括了全部多种多样的觀測項目，如果觀測大綱簡略，就不必把各栏都填写。

在記錄簿的首頁必須記下在控制站或在这个或那个觀測哨进行觀測所用的全部仪器的号碼。可能同一套仪器要供两个或两个以上觀測哨使用，但每一个觀測哨都应有自己的觀測記錄簿。

觀測記錄簿中表格式样应考慮到多种多样的觀測項目。这里記載三个高度上干湿球溫度表的全部讀數，从 3 个讀數中計算出平均值并訂正讀數，記錄风速表計數器的讀數，計算出两个高度上的风速，同时記載全部的目測項目。野外記錄簿上的記錄应謄写在小气候觀測的綜合表（見附录 III 和 IV）中。表的格式也应考慮到多种多样的觀測項目。如果觀測項目很少，那么相应的栏就可不填。整理好的綜合表是进一步整理所搜集到的資料的基础。

为了将各地段的小气候条件进行对比，按各种天气类型（晴天、阴天和云量变化的天气）划分觀測結果可获得清楚的資料。也

可以根据一昼夜的各个部分——白天和黑夜进行对比。在按照这种或那种形式将观测资料进行平均之后，图解法是比较所获得数值的最明晰的方法。分析曲线图将提供关于小气候要素在时间方面的进程以及这种进程与观测哨的地境和其它因素的联系的清晰图景。

为了较一般地评价所获得的资料和有可能将它们引伸到任何年份，不論是暖年或是冷年，并作出正确的有实践意义的結論，必須非常仔細地整理这些資料。整理时，一个計算員的計算工作務必得到另一計算員的核对。观测哨的观测結果应与控制站的同时观测結果作比較，同时后者應該特別仔細地整理和核对。

控制站的观测本身又应与常年气象站的观测联系起来，或者，象通常說的，把它們化为长期的，多年的观测級数。有关的指南(Дроздов, 1956)介绍了現有的一些方法。根据这些方法，使我們有可能把1, 2个月的短期观测化为长期級数。为了获得可靠的有实践意义的結論和进行科学的概括，任何小气候观测都应作这样的折算。

小气候观测记录簿首頁

年..... 月.....

站名.....

观测哨(观测点)№..... 州.....

观测仪器

20 厘米高度上的干湿球温度表, №.....	草群高度上的风速表, №.....
干球温度表, №.....	50 厘米高度上的风速表, №.....
湿球温度表, №.....	200 厘米高度上的风速表, №.....
50 厘米或草丛高度上的干湿球温度表, №.....	地面温度表
	第一套
干球温度表, №.....	定时温度表, №.....
湿球温度表, №.....	最高温度表, №.....
150 厘米高度上的干湿球温度表, №.....	最低温度表, №.....
干球温度表, №.....	第二套
湿球温度表, №.....	定时温度表, №.....
	最高温度表, №.....
	最低温度表, №.....

沙维諾夫系统的温度表

第一套	第二套
深度 5 厘米, №.....	深度 5 厘米, №.....
深度 10 厘米, №.....	深度 10 厘米, №.....
深度 15 厘米, №.....	深度 15 厘米, №.....
深度 20 厘米, №.....	深度 20 厘米, №.....

附注: 更换仪器或将仪器挪到另外观测点上, 都应记载。

観測記録簿の表格式样

站名 (控制点).....

哨名 (観測点).....

日期.....時間.....

第一, 第二組 (划去不須要的)

氣 象 仪 器	讀 数						
	I	II	III	平均	訂正	訂正后 讀數	两次重複 (組) 的平均數
干湿球溫度表	20厘米高度上	{干球溫度表 湿球溫度表					
	50厘米或草群 高度上	{干球溫度表 湿球溫度表					
	150厘米高度 上	{干球溫度表 湿球溫度表					
地面溫度表	第一 套	{定 時 最 高 低					
	第二 套	{定 時 最 高 低					
土壤各种深度 的溫度表	第一 套	{5 厘米 10 厘米 15 厘米 20 厘米					
	第二 套	{5 厘米 10 厘米 15 厘米 20 厘米					
风速表	50 厘米高度上		第一次 讀數	第二次 讀數	時間 (秒)	讀數差	每分 秒度
	200 厘米高度上						
	草群高度上						

风 向.....

总云量.....低云量.....日照.....

地面状况.....

水文气象現象和其它大气現象.....

草群高度 (厘米).....

附注: 第一组在记录簿左页, 第二重複組在右页登記, 两重複組的平均值只記入右页; 如只有一个観測組, 則在每页都登記, 最后一栏一般不填写。

三

小气候观测综合表格式

控制站..... 噹(点).....

11) 如○²和○占全部情況的3/4以上，則填“晴”；如只占3/4以上，則填“陰”；在所有其余的情况下填“多云”。

(2) 填分数: $\frac{\text{总云量}}{\text{低云量}}$ 。

卷之二

增刊
唯 (占)

1) 如 \odot^2 和 \odot 占全部情况的 $\frac{2}{3}$ 以上, 則稱“晴”, 如只占 $\frac{2}{3}$ 以上, 則稱“陰”, 在所有其余的情况下填“多云”。

(2) 填分数: $\frac{\text{总产量}}{\text{低产量}} =$

附录 IV

参 考 文 献

Алисов Б. П., О. А. Дроздов, Е. С. Рубинштейн. 1952. Курс климатологии, ч. I и II, гл. «Микроклимат». Гидрометеоиздат, Л.

Ацци Дж. 1932. Сельскохозяйственная экология. Сельхозгиз, М.—Л.

Венцкевич Г. В. 1952. Сельскохозяйственная метеорология. Гидрометеоиздат, Л.

Воейков А. И. 1913. Опыт исследования климатов Кавказа. Метеоролог. вестн., № 9—10.

Высоцкий Г. Н. 1950. Учение о влиянии леса на изменение среды его произрастания и на окружающее пространство. (Учение о лесной пертиненции). Курс лесоведения, ч. III. Изд. 2-е. Гослесбумиздат, М.—Л.

Гольцберг И. А. 1949. Климатическая характеристика заморозков и методы борьбы с ними в СССР. Тр. Гл. геофиз. обсерв., вып. 17.

Гольцберг И. А. 1955. Микроклиматические особенности осушенных болот. Метеорол. и гидрология, № 2.

Гольцберг И. А. 1957. Микроклимат и его значение в сельском хозяйстве. Гидрометеоиздат, Л.

Гольцов И. М., С. А. Максимов, В. А. Ярошевский. 1952. Практическая агрометеорология. Гидрометеоиздат, Л.

Дроздов О. А. 1956. Основы климатологической обработки метеорологических наблюдений. Изд. Ленингр. гос. унив., Л.

Калитин Н. Н. 1938. Актинометрия. Гидрометеоиздат, Л.

Костин С. И., Т. В. Покровская. 1953. Климатология, гл. «Микроклимат». Гидрометеоиздат, Л.

Люндегорд Г. 1937. Влияние климата и почвы на жизнь растений. Сельхозгиз, М.

Максимов С. А. 1955. Метеорология и сельское хозяйство. Гидрометеоиздат, Л.

Методические указания гидрометеорологическим станциям. 1954. № 5. Гидрометеоиздат, Л.

Методические указания, руководства, наставления Главной геофизической обсерватории (в рукописях).

Небольсин С. И. 1922. Затухание ветра среди полевой растительности. Тр. Моск. обл. с.-х. оп. станции, вып. 1.

Оболенский В. Н. 1933. Основы метеорологии. Сельхозгиз, М.—Л.

Русин Н. П. 1955. Климат сельскохозяйственных полей. Гидрометеоиздат, Л.

Сапожникова С. А. 1950. Микроклимат и местный климат. Гидрометеоиздат, Л.

Сапожникова С. А. 1951. Некоторые особенности климата оазисов в

условиях Средней Азии. Тр. Гл. геофиз. обсерв., вып. 30.

Сапожникова С. А. 1954. Микроклимат орошаемых полей. Тр. Гл. геофиз. обсерв., вып. 45.

Сенянинова-Корчагина М. В. 1949. Фитоклимат Ленинградской и смежных с ней областей. Уч. зап. Ленингр. гос. унив., № 124, сер. геогр. наук, вып. 6.

Azzi G. 1956. Agricultural ecology. London.

Geiger R. 1930. Mikroklima und Pflanzenklima. Handbuch der Klimatologie, Bd. I, Teil D. Berlin.

(Geiger R.) Гейгер Р. 1931. Климат приземного слоя воздуха. Сельхозгиз, М.—Л.

Geiger R. 1938, 1942, 1950. Das Klima der bodennahen Luftschicht. Aufl. 1, 2, 3. Braunschweig.

Franssila M. 1936. Mikroklimatische Untersuchungen des Wärmehaushalts. Helsinki.

Lundegårdh H. 1957. Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Jena.

地植物学研究时的基本水文勘查*

И. Н. 貝德曼(Бейдеман) P. A. 費連柯(Филенко)

(苏联科学院植物研究所地植物学组, 国立
列宁格勒大学地理-经济科学研究所)

关于地表水和地下水的一般知識以及 这些水与植被的相互作用

水是植物生活的最重要条件之一。在自然界它处于不断的循环中, 并且是决定植被在地球表面分布的基本因子之一。象地表和地下逕流、土壤的变湿或变干、水体的形成或消失这样的現象, 乃是自然界中总的水分循环的环节。所以, 水分循环是使地域变湿、水系形成的基本原因, 地域变湿和水系形成本身又是組成地球上总的水分循环的不可缺少的环节。

任一地域水文状况的特性是在自然地理条件綜合体的影响下形成的, 在自然地理条件中植被也占着重要的地位。因此, 水分影响植被, 反过来, 植被也影响水的水文学状况。为了确定水文因子和植被的相互联系和相互影响, 必須組織綜合的研究, 在綜合研究的情况下地方的植被和水文以及水文地质条件能同时以充分的深度被研究。

在开始說明水文研究方法的性质以前, 让我們簡短地談談逕流形成的因子, 地表水和地下水的性质以及植被对这些水状况的影响。

* 作者們深深地感謝 Л. К. 达維多夫和 А. А. 罗德审閱手稿 并提出 有价值的意見。

地表逕流

地表逕流被理解为被河流帶入海洋的那部分大气降水和流出地表的地下水。

消耗在地表逕流的水量依賴于一系列因子,首先是气候条件、地方地形的性质、斜坡的生草化程度、气候条件是这些因子中的首要的:降水越多,它們的强度越大,蒸发越弱,地表逕流就越多,反过来,降水越少,蒸发越多,逕流就越少。

地形的分割性促使大气降水迅速流走;在地形分割微弱的情况下逕流減緩。植被大大地影响着逕流,关于这点我們将在下面較詳細地討論。

地表逕流的大小也依賴于地质构造-岩石的透水性,还依賴于土壤的吸水能力:大气降水渗透的越多,它們沿地面流走的部分就越少。地域的沼泽化程度和多湖程度也对逕流有很大影响。人类的經濟活动:其目的是为了控制和減緩逕流的水利工程建筑,农业技术措施等等(积雪,筑河堤,順坡耕垦,栽植等)对逕流的影响是巨大的。

因此,地域的水文特性是在处于紧密相互依賴和相互作用的自然地理因子綜合体的影响下形成的。

以1秒钟立升表示的从1平方公里流域面积上流走的平均水量叫做逕流率(модуль стока),在苏联領土上它在广闊范围内变动着。这些变动是有規律的,并且与自然地理条件的改变相联系,在极北地区大部分降水用于逕流形成并且后者超过蒸发。在中部地带条件中逕流量和蒸发量相近,而在南方蒸发超过逕流若干倍。逕流强度改变的規律性和它对于景观特性的紧密依賴性明显地表現在Б. Д. 查依柯夫(Зайков 1946 a)所編制的等逕流率綫图上。

在平原地域上逕流的改变带有地带性质。在俄罗斯平原和西部西伯利亚逕流从北到南减少。同时愈接近东方在同一緯度上逕流量开始稍微减少。如果斜坡为草本植被生草化,被森林或灌丛

覆盖的話,地表逕流在所有地帶都減弱。正如 B. И. 魯特科夫斯基(Рутковский, 1958)所指出,水量(водность)(逕流量)依賴于气候条件和它們的动态,森林的組成和疏密度,土壤的物理和水分性质以及其它因子。在研究这个問題的时候,必須記住,不論逕流或森林被覆率它們都首先决定于气候因子。森林对逕流的影响在地域的不同自然地理条件下表現为若干方向:森林阻留地表逕流,延长水流入河床的时间,同时促使降水滲入土壤并以此增加河流的地下补給;森林减慢雪的融化同时在降水下落期間将它們阻留在自己的树冠上;森林蒸騰頗大量的水分,以此减少根分布层土壤的含水量,也就是把水汲到地表,这种水是能够借助于地下途径进入河流中的,森林在遮蔭土壤时减少土壤表面的蒸发,最后,防止土壤冲刷。

地表逕流在草甸斜坡上和农田中占以降水形式降落的总水量的 91—93%,而在森林——1—4% (Костюкевич, 1949; Дубах, 1951)。

然而,象在 Д. А. 索科洛夫斯基(1952)的著作中所指出的,具有頗多森林被复的流域的地表逕流損失为地下逕流的增加所补偿。森林土壤的大的滲漏能力和残落物层的持水性在很大程度上促成了这点。在森林被覆流域中地表逕流的强烈吸收是在春季雪融化时和夏季暴雨时发生。吸收的逕流过渡为地下逕流,这种地下逕流在平水期补給河流、小溪和泉源。所以,森林調節着逕流。这种年内逕流的調節可以以森林被覆的和森林被覆很弱的集水区的降雨洪水(дождевый паводок)进程图表示(图 1)。

一系列的逕流站的資料証明,森林被覆流域的总逕流略高于沒有森林被覆的流域。这可以用森林土壤的蒸发减低来解释,这种蒸发的减低补偿森林植被蒸騰的加大而有余。至于水分在蒸騰上的消耗,那么这个数量依賴于植被生活地点的地理緯度,乔木树种的性质和年龄,根系的深度和发育的程度,林下土壤的性质,地下水的埋深等等。

单位面积上植被的蒸騰量目前只能近似地确定。根据不同学

者的資料，森林蒸騰的水分數量是不一樣的。根據約翰·基得勒齊(Дж. Китредж, 1951)的資料，在紐約州——達到100毫米，根據A. A. 莫爾恰諾夫(Молчанов, 1950)的資料，在蘇聯北部——200—300毫米，在爪哇島上，根據約翰·基得勒齊(1951)——達到3,100毫米。在蘇聯南部草本植被蒸騰78—570毫米(Байдеман,

1956)。在林冠下總蒸發量平均等於80—150毫米(參看表1—3)。被植被和土壤蒸發的總蒸發量(美國和英國學者的evapotranspiration)¹⁾在不同的植被類型中，在地球的不同地帶是不相同的。在南方區域水生的、旱生的和鹽生的草本植被與土壤一道蒸發107到293毫米。在不同類型的松林中總蒸發量變動於484—543毫米的範圍中。從泥炭蘚沼澤蒸發507毫米。但是單獨蒸騰不能

圖1 1948, VI, 10下杰維茨卡逕流站干溝中降雨洪水的進程(據 Соколовский, 1952)
1——彼得魯辛諾(森林被覆率33%); 2——烏雅溝(森林被覆率90%)

提供關於在空氣中水分總耗損的概念。損失是由蒸騰、土壤的蒸發和植被的蒸發即阻留在植物葉子上的水分的蒸發組成。約翰·基特勒齊(1951)和A. A. 莫爾恰諾夫(1952, 1953)都指出樹冠阻留的水量和森林年齡之間的依賴性。例如，松樹純林所阻留的降水依年齡而增加：從12年林子的20%到33年林子的32%，同時當年齡繼續增加到150年的時候降至20%。雲杉林的樹冠阻留降水達37%，樺樹林的樹冠——28%。隨著林木的變稀疏阻留的降水減少。

在上述A. A. 莫爾恰諾夫的著作中引用了表示蒸騰，樹冠阻留的降水以及植被表面的蒸發的相互關係的曲線圖(圖2)。林木

1) 總蒸發量(суммарное испарение)被理解為蒸騰和土壤表面的水分的總的支出。

层的最大蒸騰和森林群落的水分最大总支出在达到33岁龄时出現。在比較年青的或比較老的林木层中蒸騰和总蒸发的支出减小，而土內逕流的水分数量同样强烈地改变着。在幼年林中树冠阻留水分很少，随着树木的生长这个数量加大。随蒸騰的升高土壤中水分数量降低。

森林促使雪在林緣堆积(图3)，同时，象已經指出过的，它使融雪和土壤冻结减緩，吸收水分，减少地表逕流，以树木的根固定土壤。

Г. А. 哈利东諾夫(Харитонов, 1938)的研究表明，在闊叶人工林的高度为60厘米时，在經受风的打击的侧面，积雪增加250%，在411厘米高时达到417%，而在450厘米高时幼年林具有积雪增加到430%的特性。春季雪的融化在森林中比在空曠地点进行的較慢。水分較易渗入土质中，并且因而阻止了地表逕流的形成，后者在地面有大的傾斜的情况下具有毁灭性的力量。因此，森林有防止冲刷的性能，草被也同样具有这种特性。草本植物(大部分是禾草)所形成的生草丛以根固結土壤的表层，改善土壤的結構和它的物理性质，使它的持水性加大。土壤生草化(задернованность)的破坏导致大面积的土壤片蝕，随之而来的是母岩的暴露以及春季毁灭性的洪水。生草盖被的破坏，而有时是消灭，可能由过渡的牲畜放牧所引起。在牲畜践踏影响下植被开始改变，草丛禾草逐漸消失。沒有被生草毡块保护的地面暴露着并且不再保持水分，土壤的透水性減低。于是开始土壤的片蝕。大雨的水带走拆开了的、抵抗水压的能力微弱的生草块。出現新的，不是生草形成者的植物，它們較微弱地坚持在地面上。斜坡或地面裸露着，往后冲刷进行非常迅速，以致于在一定的自然地理条件中导致冲沟的发育。

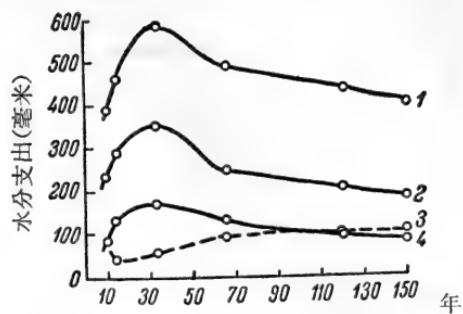


图 2 不同年齡的松树林木层中的总蒸发量(1)，蒸騰(2)，草本-灌木盖被的蒸发(3)以及树冠阻留的降水(4)的水分支出
(据 Молчанов, 1952)

距林带的距离(米)

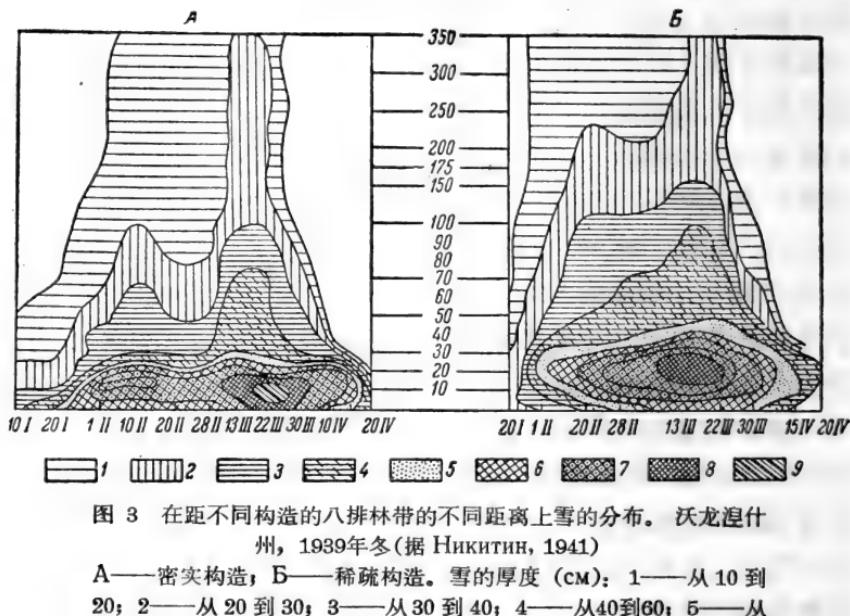


图 3 在距不同构造的八排林带的不同距离上雪的分布。沃龙涅什州, 1939年冬(据 Никитин, 1941)

A——密实构造; B——稀疏构造。雪的厚度 (см): 1——从 10 到 20; 2——从 20 到 30; 3——从 30 到 40; 4——从 40 到 60; 5——从 60 到 80; 6——从 80 到 100; 7——从 100 到 140; 8——从 140 到 170; 9——超过 170。

关于这个问题在 A. M. 谢苗诺娃-天山斯卡娅 (Семенова Тянь-Шанская, 1951 a) 关于草原带的著作中有非常有趣的资料, 在那里密实的禾草盖被为杂类草的演替, 然后又为一年生植物的演替导致土壤上层根的饱和度的降低。根据这位学者的资料, 在未被冲刷的斜坡上在大小为 25×25 厘米的样方上的根的重量是 2,667 克, 而在同样的条件下在强烈地被冲刷的斜坡上它等于 201 克。

随着由于根的消失而引起的固结力量的降低显著地降低土壤抗蚀的能力。由于过渡放牧和森林砍伐的结果而引起的植被的消灭可能导致灾难性的冲刷, 这种冲刷有时成为国家的灾祸。

与冲刷作斗争的基本的方法是调整牲畜的放牧, 制定放牧的分区系统, 放牧的定额和时期, 冲沟的植林和种草, 播种草类的选择以及一系列工程措施。

冲刷和防止冲刷的措施的問題在 Д. Л. 阿尔曼德 (Арманд, 1954, 1955 а, 1956 б), Ж. П. 加魯阿 (Гарруа, 1954), С. С. 索波列夫 (Соболев, 1948)、С. 阿尔捷尔和 K. 班契 (Арчер и Банч, 1955)、Н. И. 苏斯 (Сус, 1949) 以及許多其他人的著作中比較全面地討論过。

河 流

河流乃是从或多或少广大的, 称之为集水面积的地域收集大气降水的, 不断地运动的, 比較大的水流。

地球上所有的河流具有同一个补給来源——大气降水。但是陆地这一或那一部分被降水湿润的程度依赖于它的地理位置以及与地理位置相联系的气候和其它自然地理条件。根据 М. И. 李伏維奇 (Львович, 1938) 的資料, 苏联的河流有四个补給来源, 并且根据这个特征划分为雪补給河流、雨补給河流、潜水 (地下水) 补給河流和冰川 (有高山降雪参加) 补給河流。大部分河流同时具有三个补給来源: 雪的、雨的和地下水的, 小部分河流从两个来源获得水, 例如雪的和潜水的或雨的和地下水的。只有一个补給来源的河流很少見到。

从占优势的河流补給来源在时间上和地域上的更替中觀察到与自然地理地带性相联系的一定的規律。然而在不同地带获得补給的大河不服从这个規律。

在苏联范围内雪补給对河流状况有最大的影响。春季融雪水的比重超过年逕流容量 50% 的雪补給河流分布于苏联領土的 $3/4$ 以上。属于这样的河流有俄罗斯平原的大部分河流, 西部西伯利亚、平原哈薩克斯坦、中西伯利亚台原、西伯利亚极东北部、高加索北部的河流。高山的雪补給和冰川补給占优势的中亚河流和阿尔泰部分河流也属于这样的河流。在苏联領土的其余部分分布雨水和潜水补給的河流。有在整年中完全由地下水补給的河流 (图 4)。在夏季苏联大部分河流具有雨水和潜水补給; 有高山雪水参

加的冰川补给河流只具有有限的分布。冬季，而有时也在夏季干旱时期，有完全由潜水补给的河流。这三个补给来源提供的水量之间的对比关系从北到南，并且部分地从西到东改变着。

补给的性质以及气候因子的影响在很大程度上决定着河流的状况(режим рек)。其余的自然地理条件对逕流的年内分布的影

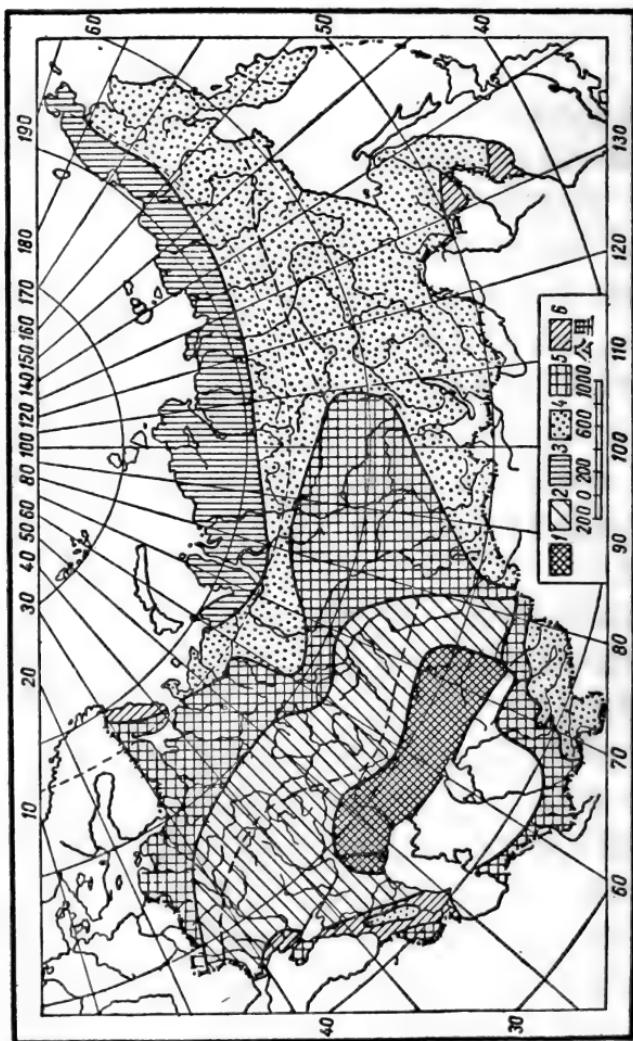


图 4 按逕流年内分布的苏联河流类型图式(据 Ільинич, 1945)
 逕流产生: 1——几乎完全在春季(超过 80%), 2——主要在春季(超过 50%), 3——几乎完全在夏季
 (超过 80%), 4——主要在夏季(超过 50%), 5——在一年中每一个季节逕流都少于 50%, 春季逕流占
 优势, 6——同上, 夏季逕流占优势。

响要小得多。按照状况的性质,全部苏联河流,除了自然地或人工地調節逕流的河流以外,可以区分为(Зайков, 1946)三組:1)具有春季汎水的河流,2)在一年中溫暖时期具有汎水的河流,3)具有洪水状况的河流。在洪水之間的間隙通常形成为偶然性洪水所破坏的低逕流(平水位)。在苏联領土上分布最广的是第一組的河流——具有春季汎水的。春季汎水到达的时间依賴于地点的緯度和海拔高度。在俄罗斯平原的西南半部春季汎水通常在3—4月觀察到,在东北半部——4—5月,在西部西伯利亚低地的南部——5—6月,其北部——6—7月,在东部西伯利亚——5—6月,其北部——6月。在高加索、中亚、阿尔泰、西薩彥的山区,春季汎水包括从3月到6月的期間。

确定在每一个个别情况下的河流状况对于地植物学研究具有巨大的意义,因为一方面在地表逕流和地下水之間,另一方面在地表逕流和植被之間,在不同的期間存在这种或那种一定的依賴性。

河 漫 滩

水流的側向侵蝕和沉积物的堆积是河漫滩形成的原因。河流的河漫滩分布于沿河床的河谷中。这是河谷的低下部分,在汛期定期地被淹没并且为現代冲积物所充填。从河漫滩深处的河床到基岸(或超河漫滩阶地)有規律地改变着地形、地下水、冲积物的机械組成以及植被。由于这个原因区分出下列河漫滩部分¹⁾:

1) 濱河床部分,河漫滩的最高起的部分,直接与河床邻接,由具有壠崗(长丘)和壠崗間低地的比較輕松的沉积物組成(图5)²⁾。与河水相联系的潜水不具有停滞的性质并且含氧丰富。在壠崗部

1) B. P. 威廉斯(1922, 1926)和 A. П. 謝尼科夫(1941)曾經詳細地描述过河漫滩的起源和结构。

2) 該图式(图5)的缺点是没有表示出由古冲积物組成的阶地系統(主要是左岸的),而这种阶地系統是苏联平原部分的特征。

分它們埋藏很深，而在壠崗間低地接近地表。沉积泥的厚度很大——达到若干厘米。

2) 中央部分，比起第一部分来要比較低些，具有比較平坦的表面，由稍微比較粘重的沉积物，通常是壤土組成。地下水埋藏比較高，而在低地常常溢出地表。沉积泥的厚度較小——达到几毫米。

3) 近阶地部分，是最低的和远离河床的河漫滩部分，位于超河漫滩阶地边缘，具有粘土冲积物。地下水非常接近于地表，由于这个原因河漫滩的这一部分大部分沼泽化。沼泽土或泥炭-沼泽土，粘性的，通气不好。沉积泥以毫米的十分之几量度。

在河流的河漫滩中通常生长特殊的河漫滩草甸或森林植被，它們处于完全特殊的生存条件中——水的定期氾滥和沉积泥的堆积。

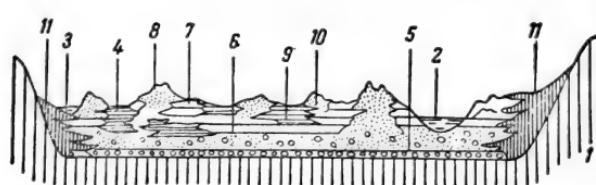


图 5 河漫滩构造的图式(据波波夫,1951)

1——基岩；2——河床；3——近阶地小河；4——古河；5——河床冲积的卵石层；6——河床冲积的沙；7——河漫滩冲积物；8——滨河床土壤的沙；9——古冲积物；10——风力吹扬的沙；11——冲积-坡积堆积物。

的厚度，水的溫度和它的化学組成而改变。

上面已經指出，大部分平原河流在春季由于分水界上雪的融化而氾滥(苏联欧洲部分和西部西伯利亚的河流)。晚夏，当强大的季风雨通过的时候，远东地区部分河流氾滥。有时河流的氾滥是在春季和夏季，这是发源于冰川的草原地带和森林草原地带的河流的特点。这些河流的第二次氾滥是由于河流发源的山区的雪的融化。因此，河漫滩植被自己生长期的一部分获得过剩水分，并且在所有情况下比起分水界上要获得較大量的水分。

在氾滥河流阶地上植被发育的节律自然与河流本身氾滥的时期相联系，淹没的影响是依在一年中的时间和氾滥的持续性，覆盖河漫滩的水层

按照淹没時間的長度河漫灘分為長期淹水的(долгопоемная) (水停留不
少于 30 天), 短期淹水的 (краткотемная) (水停留不
超过 15 天) 和中期淹水的 (среднепоемная)。不是所有的植物以
同样程度很好地忍受河漫灘条件。一些植物种适应于这种条件并
且甚至于改变自己发育的时期以符合氾濫的时间, 另一些植物則
死亡。

按照忍受水淹的程度植物区分为三个类群 (Еленевский, 1936), 长期淹水的——最能忍受淹没 (超过 40 天); 中等淹水的 (умеренно-поемное)——对淹没的忍耐力中等 (达到 30—40 天); 短期淹水的 (краткотемное)——忍耐能力很小 (不超过 10—15 天)。И. В. 拉林 (Ларин, 1956) 例举过关于这三个类群的植物名录。

河漫灘生境的第二个特殊条件是沉积泥的沉积, 这种沉积泥的沉积对河漫灘中的植被和土壤形成过程有非常大的影响。植物很容易穿过沙, 比較不容易穿过壤土和粘土冲积物。长根茎植物和根蘖植物較好地忍受厚层沉积泥的覆盖。許多植物种存活下来仅仅由于它們产生垂直萌条的能力。当壤土和粘土沉积泥以坚硬結皮形式变干以后(出現許多裂紋以后), 植物不能穿过它, 于是它們之中許多死亡。常常萌条只沿着裂縫穿出。按照“冲积性”(нан-
осность) (Р. А. Еленевский 的术语) И. В. 拉林 (1956) 把植物分
为三个类群: 厚层冲积的 (мощно-наносное)——生长在沉积泥
2—5 厘米厚的地方; 中等冲积的 (умеренно-наносное)——具有
0.5—2 厘米的沉积泥; 弱冲积的 (слабо-наносное)——沉积泥不
到 0.5 厘米。

沉积泥包含着营养物质。沉积泥的化学組成依賴于什么样的岩石被河流冲刷下来。它在不同的河漫灘以及甚至在一个河漫灘的
不同部分改变着。无机盐类最丰富的沉积泥見于黑鈣土区域。沉积泥的沉积也改变土壤的物理性质。按照 С. П. 斯米洛夫
(Смелов, 1955) 的意見, 沉积泥彷彿是保証較好的湿度条件, 促进
动物区系积极生命活动的覆盖物。

在渾浊的春汙水中具有頗大量的細菌，它們与沉积泥一起沉积下来。在它們之中发现有氨化細菌，硝化細菌和反硝化細菌，还有固氮者(固氮細菌和梭菌)。因此，沉积泥也是細菌的肥料。

沉积泥的沉积改变土壤形成过程的进程，这种进程同样也依赖于它的数量(沉积层的厚度)。

可見，洪水进行河漫滩中植被的选择，而含营养物质丰富的沉积泥促进它的发育。被汙水沉积在河漫滩中的許多植物的大量种子也有助于这点。

不同地帶的土壤-气候条件和植被自然影响到河漫滩的植被。許多植物种沿着河流的河漫滩基本上从北向南移动，同时有少量从南向北移动¹⁾。每一个地帶有自己特殊的河漫滩植被²⁾。例如，在冻原和森林冻原中，那里河流的汙濫是暴风雨般的但持续时间不长。河漫滩的植被带有冻原的性质(小灌木，地衣和藓类)。森林地帶和森林草原地帶的河漫滩草甸——这是苏联最好的草甸。在中央河漫滩部分地方有許多森林，在近大陆河漫滩有沼泽。在草原河流的河漫滩中观察到或多或少显著的盐渍化現象，这是小的降水量和制約于空气的高溫的大的蒸发量所促成的。在荒漠地帶河流主要在山区冰川融化期間汙濫。荒漠地帶的河流沒有象其它地帶的河流那样有明显表現的河漫滩部分。

在河漫滩排水微弱和有經常丰富的地下水的情况下常常发生汙水和潜水的联合，这种情况决定了土壤和土质上层丰富的或过剩的停滞水湿。发生局部的，而在許多情况下全部的河漫滩泥炭化，使它从矿物质的变成沼泽的。

有机物质以泥炭形式在河漫滩表面的积聚伴随着含水量的增大和植被生存条件向灰分物质和氧的保証减少的方向的改变。发生高产量的，对灰分营养需要量較大的植物被产量低的和需要較小的植物的自然演替。这种河漫滩的草群的天然产量按照沼泽形

1) 系指苏联情况而言。——譯者注

2) 关于这个問題的較詳細的报导可參閱 A. П. 謝尼科夫 (1941) 和 И. В. 拉林 (1956) 的著作。

成加强的程度日益降低并且在质量方面变坏。沼泽河漫滩割草場的改良基本上借助于控制河流本身的水状况以及沼泽割草場随后的精細排水和开垦才有可能。

在地植物学研究的时候,特別在研究得很少的地区,必須确定地表水流和水体的状况以及地下水的状况。我們把河流状况(режим реки)理解为制約于自然地理因子,以及水利工程措施的,在时间上和空间上的河流情况的有規律的改变。水文状况(гидрологический режим)的性质則以水位和水流量、它的溫度的变动,冲积物的数量和組成,可溶性物质的浓度,河床的改变以及其它現象來說明。河流状况基本要素的觀測方法叙述于下面«地植物学工作时的水文研究方法»一节中。

地 下 水

在地表和土内逕流,还有在蒸发和蒸騰上沒有用尽的部分水分,渗入母岩并形成地下水(подземная вода)。

地下水根据成因的性质、埋藏的条件、含水岩石的性质、水力特征、质的組成、含水层的地质年龄以及其它特征进行分类。

根据成因的性质区分为(Саваренский, 1935) 渗流水和原生水。渗流水(вадозная)——这是与大气水和地表水一起参加总的水分循环的水;原生水(ювенильная)——这是从岩浆中分泌出来的水。渗流水本身又分为: 1) 渗透水(инфилтрационная), 經过土质的細孔渗透的大气或地表水; 2) 隙滲水(инфлюационная), 經过裂縫渗透的水; 3) 凝結水(конденсационная)——由于水汽的凝結在岩石的細孔和空处形成的水。

根据埋藏的条件区分出表层水和深层水,或层間水(вода между пластов). 也可能有层內水(пластовая вода), 根据含水岩石的性质可以区分出石灰岩水、砂岩水、花崗岩水等等。根据水力特征水可以是无压的(безнапорная) (具有自由表面) 和承压的

(напорная)。根据地质形成的年齡可以区分出，例如，“后綠砂期含水层”等等。根据矿化度地下水可以是淡的，弱矿化以及盐水。根据溶质的性质区分出碱性水、碱土水、鐵水、碳酸水、盐水、氯化物水、硫酸盐水等等。按照上列全部特征将地下水进行分类是十分复杂的事情。曾經建議过許多种的地下水分类 (Саваренский, 1935; Ланге, 1947, Овчинников, 1955)。

通常区分出三种基本地下水类型 (Овчинников, 1955): 1)自流水, 2)潜水和3)通气层水 (вода зоны аэрации)。

主要埋藏在第四紀以前地层中并且具有水压的地下水叫做自流水。在每一个自流盆地中区分出: 1)补給区 (область питания), 2)水压区(область напора)和 3)减压区(область разгрузки)。含水地层的补給区位于地面比較高的位置。在补給区和减压区觀察到地下水和地表水的直接联系。自流水的移动是从补給区到减压区。已經編制出苏联欧洲部分領土上自流水分布的概图(Семихатов, 1934)。自流水广泛地被应用于国民經濟中, 例如为了灌溉的目的。許多綠洲利用地下水灌溉, 借助于钻探以获取地下水, 显然, 还在远古时代就已进行。在苏維埃时代利用自流水灌溉了苏联南部的許多牧場。

潜水(грунтовая вода)——这是地表以下第一个經常含水层的自由重力水。这些水在存在傾斜的情况下沿着含水层流动, 这时通常达到河、湖等等。在那种情况下, 当不透水层接近土壤表面的时候, 潜水以泉水形式流出。

潜水通常是无压的, 也就是具有自由表面。为了开采或勘探潜水而打的水井或钻井中的水位相当于潜水上界的高度。潜水被不透水岩石覆盖的地段, 它們可能具有局部的水压。

潜水的表面叫做潜水面 (зеркало грунтовых вод), 而包含潜水的岩层叫含水层(водоносный горизонт)。含水层的下垫不透水的岩层是不透水层(водоупор)。从潜水位到下垫不透水层的距离說明含水层的厚度。

潜水补給的基本来源是大气降水——雨、融雪、露的滲漏。潜

水的凝結補給，也就是由於降落在變冷的岩石顆粒上的空氣水汽的凝結的補給，特別在荒漠地區，也具有很大意義。由於這個原因，例如在以降水很少蒸發很強為特徵的卡拉庫姆荒漠中，在距地表某種深度觀察到濕潤的沙層。河水和湖水的滲漏在潛水補給中具有很大意義。

在干旱區域河水的頗大消費在潛水的補給上。阿姆河、錫爾河、庫拉河等可以作為例子。它們在一年內一部分自己的水消費在潛水的補給上，在具有濕潤和中度濕潤氣候的區域河流只在地表水位很高的時期補給潛水，在夏季和冬季的月份它們通常排出潛水，也就是說被潛水所補給。

潛水狀況 (режим грунтовых вод) 基本上決定於通氣帶 (зона аэрации) 中的水分平衡 (Овчинников, 1955)。如果滲入水的量大於它的支出，那麼潛水水位就升高，相反，如果地下逕流超過入透，那麼水位就降低。

區分出潛水埋藏的兩種情況：潛水流和潛水盆地。

在不透水層位置傾斜和潛水有可能沿着它流動時形成潛水流 (грунтовый поток)。如果潛水佔據不透水庫盤地形的低處，則形成潛水盆地 (грунтовый бассейн)。在自然界常常觀察到潛水流與潛水盆地的結合。如果潛水流在路上遇到什麼障礙，就形成支撐潛水流 (подпертый грунтовой водой)。在潛水流壅高時它的水位接近於地表，在某些，主要是負的地形部分可能溢出泉水。在潛水被河谷，沖溝或其它負地形形式橫穿的情況下觀察到水的層間溢出。平穩地下降到溢出地表的點的潛水流形成彎曲表面，叫做降落面 (депрессионная поверхность)。如果水從水井汲出，那麼環繞它形成漏斗狀的降落面。

植被和潛水

植被在地表面的分布非常緊密地與水分的分布相聯繫。存在一系列的根據對水分關係的植物生態型式的分類。最廣泛地流行的是E.瓦爾明 (1901) 的分類，這個分類把植物劃分為水生植物，旱

生植物和中生植物。

滲入土壤的降水和潛水乃是土壤中植物根的水分的來源。依根系的長度為轉移植物可以從這個或那個深度獲得水分，或者從土壤，或者直接從潛水。И. Н. 貝德曼(Бейдеман, 1948, 1953) 根據植物對於水分的利用將植物分為四個類群：雨水植物、毛管水植物、潛水植物和水生植物。

雨水植物(омброфит) 具有深埋的潛水而分布在土壤表層的根系，吸收在下雨期間從地表滲入土壤深處的重力水和毛管懸着水。它們也能够利用凝結水分。

毛管水植物(трихогидрофит) 比起上一類群植物來具有比較深入土壤的根系，從比較不深的埋藏潛水利用毛管—提舉土壤水(капиллярно-поднимающуюся почвенную влагу)。

潛水植物(Фреатофит)¹⁾ 具有深深地钻入土壤的根系，利用潛水。

水生植物(Гидрофит)²⁾ 或者具有分布在土壤表層，利用水分過剩地點的地表水或高位的潛水；或者生於水體底部，利用充滿於水體的水。

上列植物類型在不同地帶和在不一樣的氣候情況下將結合不一樣的生活型。

在每一個地帶適應於這種或那種水分補給類型的植物種的確定提供搞清楚植被與水分性質的聯繫的可能。植物與潛水的緊密聯繫使我們有可能接近於“通過植物”認識這些水分狀況，這種植物在一定程度上是水指示體(гидроиндикатор)。還在很早以前許多研究者就曾經注意到這種植物並且在尋找潛水時利用它們。

植被與潛水的聯繫為許多研究者所闡明(Meinzer, 1937；根據Приклонский, 1937 所引証的 Уайт, 1931；Приклонский, 1937, 1946；Бейдеман, 1946；Ахмедсафин, 1947, 1951 等)。最近屬於航

1) 美因哲(Meinzer, 1937)的術語。

2) E. 瓦爾明(1901)的術語。

空地地质托拉斯的 C. B. 維克托罗夫 (Викторов) 領導下的植物学家集体进行着关于查明在地质和水文地质研究时植被的地质指示性质的工作 (Востокова, 1952, 1953, 1955, 1956; 地质研究时的地植物学法, 1955, 維克托罗夫, 1955)。

有时可能是淡潜水标志的植物或它们的群落在为了經濟目的的水文地质普查工作时, 特別是在干旱地区灌溉时具有很大的价值。这时必須研究植物的根系, 并且确定它所钻入的深度以及与潜水接触的性质(否定的或肯定的)。与此同时必須測量潜水埋藏的深度并且进行它们的化学分析。当每一个群落以潜水深度和化学性的若干指标(根据 E. A. 沃斯托科娃不少于10)說明特征时, 那么, 也就查明在相应指标中, 对于每一个群落的潜水埋藏深度的幅度, 以及最低、最高、最适和它们的矿化度。

在查明植物根系与潜水接触性质的基础上区分直接和間接潜水植物指示体 (растение-индикатор)。直接指示体——这是那些直接以根系与潜水接触的, 标志潜水的深度和矿化程度的潜水植物。植物与潜水的联系在苏联半荒漠和荒漠地区研究得最完全。可以指出是潜水埋藏深度和矿化度的直接指示体的植物种, 例如 *Phragmites communis*, *Alhagi pseudalhagi*, *Halocnemum strobilaceum*, *Limonium scoparium* 及其它。

潜水的間接指示体是这样的植物当它标志岩石的这种或那种岩性差別, 而这种差別又以一定的水文地质学特性为特征时 (Востокова, 1955)。間接指示体是不直接与潜水接触, 但仍然証明它们埋藏很深的那种植物, 例如 *Stipa capillata* 以及許多其它的草原禾草。

植物群落作为指示体的意义要大的多, 这里植物的結合标志着潜水的这种或那种深度和矿化度。例如, 甘草 (*Glycyrrhiza glabra*) 純植丛表明 1 升中有 2.04 克致密渣滓級數的矿化度, 而与 *Bolboschoenus maritimus* 和 *Alhagi pseudalhagi* 相結合——已經是 1 升 31.6 克。許多其它群落也有同样情况。

在每一个个别情况中不同的植物組合說明潜水矿化度的差

別。然而可以确切地相信一些植物是潛水強烈礦化的標誌 (*Halocnemum strobilaceum*, *Halostachys caspica* 以及許多其它植物), 另一些是弱礦化的標誌 (*Phragmites communis*, *Agropyrum repens*, *Lasiagrostis splendens* 等)。

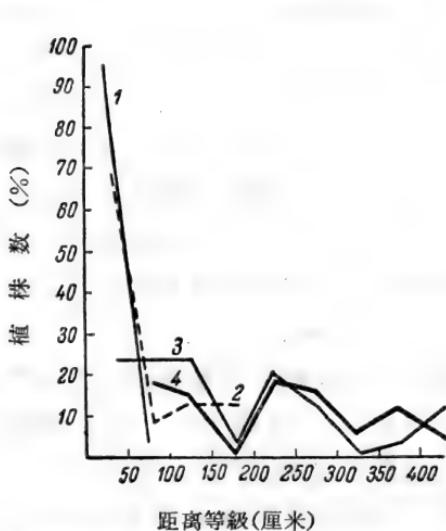


图 6 按距离等級的 *Alhagi pseudalhagi* 的分布, 土庫曼南部, (据 Востокова, 1955)

1—Унбелъмек 泉区域 (淡潛水); 2—Даната 泉区域 (淡潛水); 3—Кыз-Кара 井区域 (盐潛水); 4—ЯК-Яйла井区域 (盐潛水)。

淡水和盐水指示体結合在一个群落中表明在群落中存在植物的演替, 这种演替将来可能导致联系水文状况向潛水淡化或盐化方向改变的整个群落組成的改变。

在每一个具体情况中这个問題需要特別地解决。

在最近 E. A. 沃斯托科娃 (1955) 等确定, 群落中植物各个个体之間的距离是可以改变的, 并且这是特殊水文地质特征的標誌 (Дохман等的測量法, 1954; Hopkins, Skellam, 1954)。E. A. 沃斯托科娃 (1955) 引証了在不同潛水矿化度情况下 *Alhagi pseudalhagi* 的分布图(图 6), 从这个图中可以清楚看出, 随着矿化度的增加发生这一个种的稀疏化。这一研究方法对于研究植被与生境的这一或那一因子的联系, 特別是与潛水的联系是非常有前途的。

植物不仅可作为潛水的这种或那种深度以及它的矿化度的指示体, 而且也积极地影响潛水和地表水的状况。

上面已經提及, 植被对潛水, 对土壤湿度, 对地表逕流的减少或增加, 对地下逕流等各方面的影响也在水分的蒸騰消耗中显示出来。整个地球的植被消耗和向大气中蒸騰大量的水分。暫时我

們還不能想象整個這個過程的規模，因而不能以应有的程度估價它。

確定蒸騰的方法在 B. M. 斯維什尼柯娃(Свешникова)的著作¹⁾中有說明。這裡我們只簡短地談一下某些數字，以便表示出不同植被類型的蒸騰和總蒸發量，並且估計蒸騰對地方水文狀況的影響(表1—3)。

從表1—3的資料中可以清楚看出，儘管學者們采用的方法不同，一系列學者所引用的數字次序大致是相似的。

對所引用數字的分析提供將植物種按蒸騰量的增加而排列的可能(表1)。美國的松樹 *Pinus ponderosa* 和南美的山龍眼 *Protea caffra* 在蒸騰上消耗的水分非常少。橡樹、松樹和冷杉可以列入中等蒸騰樹。山毛櫟、櫟、落叶松、樺、葉榆、柳消耗水分較多。高加索的雜種楊、美國的紅雲杉、南非種植園中的偉松還要蒸騰更多的水分。最後，南非種植園中的金合歡和桉樹最大量地蒸騰。

對於同一個樹種不同的學者引用不同的、雖然也是接近的蒸騰量。然而在目前還沒有可能確定蒸騰上水分喪失差別的原因。可能，它在於氣候條件；也可能，這些或那些學者的資料不完全準確。

比較不同類型森林的蒸騰(表2)也表明蒸騰量的波動：最低出現於美國的山毛櫟—槭樹林，最高出現於熱帶林。根據諾夫戈羅德試驗站和 K. E. 伊萬諾夫(Иванов, 1953)的材料，沼澤以頗大的總蒸發為特徵(達429毫米)。

至於草本植被，那麼這裡關於蒸騰的資料非常少(表3)。我們在上面引用過諾加依草原的荒漠植被的蒸騰量。在И. H. 貝德曼(1954—1956)的著作中可以獲得詳細的數字材料。這裡(表3)為了與文獻中已有的資料相比較，列舉了荒漠和半荒漠群落以及草甸的總蒸發量。此外給出林冠下地衣、蘚類、草本和灌木層片的

1) 參看本卷398頁。

表 1 在生长期間喬木樹種的蒸騰

植物种	蒸 腾 (毫米)	学者和地理地点
1	2	3
<i>Pinus ponderosa</i>	45.8	Horton (1923); 亚利桑那。
山龙眼 (<i>Protea Caffra</i>)	57.5	Henrici (1946 a-c); 南非联邦。
无梗櫟 (<i>Quercus petraea</i>)	122	
欧洲赤松 (<i>Pinus sylvestris</i>)	160	基德列希 (1951); 欧洲。
林山毛榉 (<i>Fagus sylvatica</i>)	274	
桑树 (<i>Morus alba</i>)	300	貝德曼; 外高加索 (庫拉-阿拉克申低地)。
欧洲云杉 (<i>Picea excelsa</i>)	320	基德列希 (1951); 欧洲。
叶榆 (<i>Ulmus foliacea</i>)	350	
南柳 (<i>Salix australior</i>)	350	貝德曼; 外高加索 (庫拉-阿拉克申低地)。
灰毛楊 (<i>Populus canescens</i>)	400—500	
欧洲落叶松 (<i>Larix europaea</i>)	682	基德列希 (1951); 欧洲。
紅云杉 (<i>Picea rubens</i>)	686	Horton (1923); 新英格兰。
伟松 (<i>Pinus insignis</i>)	884—1109	
种植园的桉树 (<i>Eucalyptus Stuartiana</i>)		
幼年的	1186	Henrici (1946 a-c); 南非联邦。
老年的	1200	
柔軟金合欢 (<i>Acacia mollissima</i>)	2500	

数字指标(Молчанов, 1952)。从所引用的資料中可明显看出, 草甸植被消耗在总蒸发的水分几乎比荒漠植被大两倍。在林冠下, 显然由于遮蔭的結果, 組成草本-灌木和地被层片的植物以及土壤蒸发很少的水分。

目前可以确定地說, 在潛水埋藏很深的地方植被蒸騰的水分不超过以降水形式在生长期間降落的数量。在潛水位于植物根系发育范围之内并且能够被它們利用的地方, 植被消耗在蒸騰上的水分大大地超过以降水形式降落的。例如, 在北高加索在250毫米降水和潛水埋藏在9米深处的情况下, 其根系达到1.5米深度的由 *Stipa capillata* + *Agropyrum sibiricum* + *Festuca sulcata* 組成的

表 2 生长期間不同森林群落的蒸騰

森 林 群 落	蒸 謕 (毫米)	学 者 和 地 理 地 点
山毛榉-槭树林 (<i>Fageto-Aceretalia</i>)	102—127	基德列德希 (1951); 美国 (紐約州)。
具金合欢的朴树林 (<i>Acacieto-Celtetalia</i>)*	139.7	Henrici (1946 a-c); 南非联邦。
泥炭藓松林 (<i>Pineta sphagnosa</i>)	169	莫尔恰諾夫 (1952); 符拉吉米尔州, 杜布拉和基尔亚奇河之間, 普罗庫井松林。
云杉-山楊林 (<i>Piceeto-Tremuleta</i>), 疏密度 0.8	170—283	华西里耶夫 (1949); 莫洛戈-謝克逊低地。
金发藓松林 (<i>Pineta polytrichos</i>)	210	莫尔恰諾夫 (1952); 符拉吉米尔州, 杜布拉和基尔亚奇河之間, 普罗庫井松林。
云杉-落叶松林 (<i>Piceeto-Laricetalia</i>)	200—215	华西里耶夫 (1949); 莫洛戈-謝克逊低地。
藓类松林 (<i>Pineta hylocomiosa</i>)	228	莫尔恰諾夫 (1952); 符拉吉米尔州, 杜布拉和基尔亚奇河之間, 普罗庫井松林。
牙疮痘松林 (<i>Pineta vacciniosa</i>)	245	
云杉-寬叶林 (<i>Piceeto-Tremuleto-Betuletalia</i>)	250	莫尔恰諾夫 (1952), 根据 B. И. 魯特科夫斯基**, 列宁格勒州。
越桔松林 (<i>Pineta myrtillosa</i>)	267	莫尔恰諾夫 (1952); 符拉吉米尔州, 杜布拉和基尔亚奇河之間, 普罗庫井松林。
沒有地被的松林 (<i>Pineta pura</i>), 32 年	200—300	阿赫罗美依科 (1950); 奧連堡爾州, 沿布祖卢克河, 布祖卢克松林。
郁閉的鵝耳櫪林 (<i>Carpinetalia</i>)	354	拉茨 (1938)。
松林 (<i>Pineta</i>), 33 年	449—467	法尔科夫斯基 (1939); 乌克兰。
具地被的橡树-櫟树林 (<i>Querceto-Fraxineta</i>)	547—602	
具草本的热带常綠林	1500—1800	法塞尔 (1955)。
热带林	3100	基德列希 (1951); 爪哇島。

* *Celtis Kraussiana* + *Ziziphus mucronata* + *Acacia Karroo* 群丛。

** 很遺憾, A. A. 莫尔恰諾夫 (1952: 408) 没有提供 B. И. 魯特科夫斯基著作的确切引文。

群落蒸发 91.2 毫米。在潜水水位不深于 1 米的情况下, 其根系达到潜水的由 *Juncus Gerardii* + *Bolboschoenus maritimus* 組成的群落蒸发 642.8 毫米。

因此, 植被和潜水的相互影响在很大程度上依赖于后者的埋藏深度。B. A. 普里克隆斯基 (1946) 认为, 在其时观察到水分喪

表 3 生长期間草本植被的总蒸发(土壤蒸发+蒸腾)

群落或层片	总蒸发 (毫米)	学者和地理地点
开曠地点的草本和半灌木植被		
<i>Artemisia taurica + Kochia prost-rata + Salsola laricina</i>	62	
<i>Artemisia taurica + Salsola dendroides</i>	131	
<i>Stipa capillata + Festuca sulcata</i>	160	
<i>Salsola dendroides + Petrosimonia brachiata</i>	164	И. Н. 貝德曼, 諾加依草原, 北高加索。
<i>Phragmites communis + Calama-grostis epigeios</i>	183	
<i>Agropyrum cristatum + Artemisia taurica</i>	205	
<i>Carex melanostachya + Alopecurus ventricosus</i>	293	
杂类草草甸	432—468	莫尔恰諾夫 (1952)*, 符拉吉米尔州, 杜布拉和基尔亚奇河之間, 普罗庫井松林。
禾本科草	462	拉塞尔 (1955)*, 英国 (拉坦斯特德)。
林冠下的地衣, 蕚类, 草本和小灌木层片		
地衣盖被	79—80	
由真光蕈組成的盖被	80	
由欧洲越桔組成的盖被	116	
由牙孢真菌組成的盖被	129	莫尔恰諾夫 (1952), 符拉吉米尔州, 杜布拉和基尔亚奇河之間, 普罗庫井松林。
由酢浆草組成的盖被	151	
由金发藓組成的藓被	190	
由泥炭藓組成的藓被	128	

* A. A. 莫尔恰諾夫和 Э. 拉塞尔沒有引用植物的拉丁名称。

失于蒸发的潜水埋藏临界深度(критическая глубина залегания грунтовых вод)应该是 1—5 米。按照这位学者的意見, 陆地表面的蒸发由三个要素組成: 1)从毛管飽和带以上的土壤上层的水分蒸发, 2)从潜水面, 准确一点說——从毛管带表面的蒸发, 3)植被的蒸腾。

第一种形式的蒸发不影响潜水, 因为蒸发的是不下降到潜水

的水。第二种形式在潜水埋藏不深的情况下对于潜水有重大的影响。在潜水埋藏深度超过1.5—2米的情况下土壤的直接蒸发不可能表现出对它们深度改变的影响。蒸腾活动影响到潜水状况，同时依根系是否达到潜水位，有时影响达到15—20米的深度。

回到我們在上面引用的那种植物分类，可以指出，根系在毛管边缘带（капиллярная кайма）以上获取水分的雨水植物对潜水位的变动不可能表现出影响。从毛管带获取水分的毛管水植物，以及特别是根系下降到潜水的潜水植物影响潜水位的昼夜和季节变动。

在艾斯卡兰特河谷（美国，犹他州）B. 华埃特（轉引自普里克隆斯基，1937）曾經在3年期间进行潜水变动的观察。他在潜水植被下記載了潜水的昼夜变动（图7）。水位从早晨9—11时开始降落并且在晚上6—7时达到最低的位置。然后它开始升高并且到早晨7—9时达到最高点。在沒有植被的邻近地段沒有观察到变动。每日的变动从春季叶簇出現开

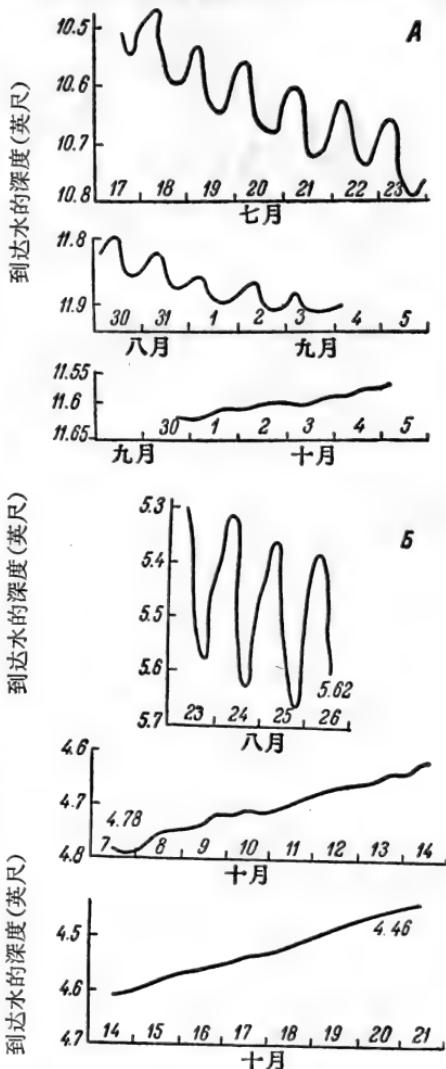


图 7 潜水面的昼夜变动,美国,犹他州,艾斯卡兰特河谷（据华埃特,轉引自普里克隆斯基,1937） A—具 *Sarcobatus vermiculatus* 的地段上, B—柳林中。

始，在秋季落叶时停止。图8說明苜蓿田上的昼夜变动以及苜蓿收割之后潜水位的升高，而图9是蒸腾影响之下的林带下和草原地段下潜水位的昼夜变动（Знаменский, 1938）。

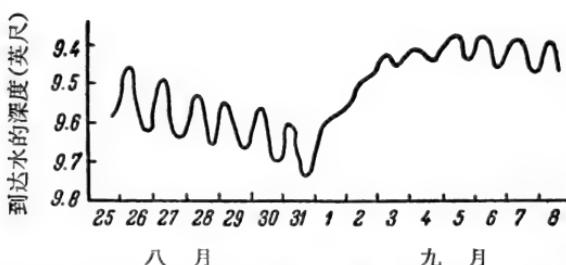


图 8 26 VIII 到 8 IX 1926 的苜蓿草群下到苜蓿收割 (31 VIII 1926) 和收割以后潜水位的昼夜变动。美国, 犹他州, 艾斯卡兰特河谷 (据华埃特, 转引自普里克隆斯基 1937)

从 П. В. 奥托茨基 (Отоцкий, 1899) 开始, 关于森林对潜水位深度的影响的问题被争论着。大家知道, П. В. 奥托茨基的关于在森林下比在田野中潜水较低的见解, 并没有为同一

地点进一步的研究所证实。然而不同学者 (Берг, 1938; Басов, 1949; Шелаев, 1950, 及其他人) 所确定的分歧导致这样的思想, 森林在性质方面和在周围环境条件方面是极其不同的。因此不能在所有情况中获得同样的指标。

B. И. 鲁特科夫斯基
(Рутковский, 1958) 曾经进行过关于这个问题的极有价值的研究。他曾经指出, 在森林下和在开旷地点的潜水位与气候的周期性波动紧密地相联系。在潮湿的年份, 特别是在多年潮湿期间, 当在开旷地点发生大的地表逕流时(融雪时, 暴雨时), 森林下潜水却大量地积累。相反, 在干旱的期间, 在开旷地点, 被草本植被消耗的水分

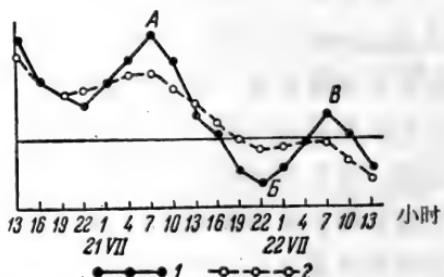


图 9 具有胡颓子林缘的含桑树的由美国械組成的林带下水井中(1)以及次生草原 (*Festuca sulcata*, *Thymus borysthenicus*, *Euphorbia Seguieriana*) 地段上水井中(2) 潜水位的昼夜变动。赫尔松州的下德涅伯沙地 (据 Знаменский, 1938)。A—B—由于吸收的结果而下降; B—B—由于蒸腾停止而升高。

显著地减少,而森林从很厚的土壤-土质层蒸腾水分,因为这个緣故使得与开曠地段比較起来潜水位有强烈的降低。

現在可以认为已經确定, 潜水位变化的季候节律在很大程度上与植物的蒸腾活动相联系。在春季上升之后的夏季下降是由于树木的吸收, 而秋季的上升是由于蒸腾的停止。

A. A. 莫尔恰諾夫(1952)根据在不同林型的松林中进行的觀察得出下列結論: 潜水越接近地表, 它們降低也越多, 植被也越强烈地表現出对它們的影响。在同样的条件下云杉林降低潜水位要比松林多(图10)。

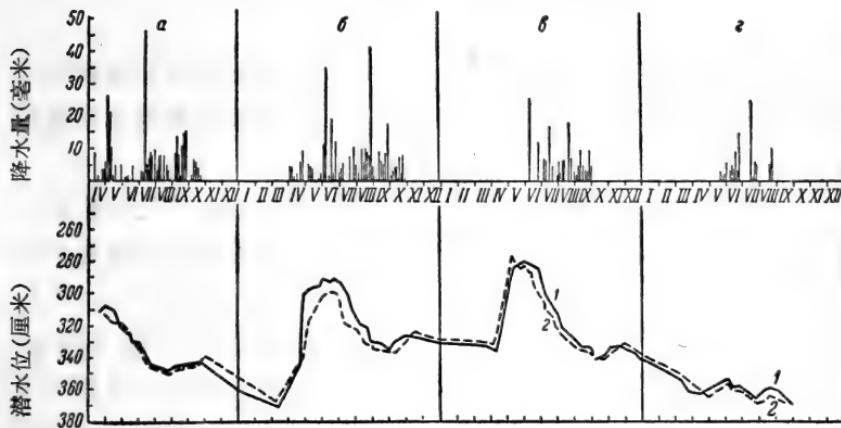


图 10 在65 年的具有稠密云杉层的松林中(1)和藓类纯松林中(2)潜水位的变化(据 Молчанова, 1952)

觀測年份: a—第一年; б—第二年; в—第三年; г—第四年。

正如已經指出过的, 沒有疑問草本植被(特別是潜水植被)不論在潜水位的昼夜变动, 或是季节变动中都起很大作用。И. Н. 貝德曼在庫拉-阿拉克申低地曾經觀察过 1931 年生长季期間潜水位的变化以及植被 (*Salsola dendroides* + *Artemisia Meyeriana*) 和土壤的总蒸发的平行变化(图11和12)。

春季潜水位于 120 厘米的深度, 这时毛管水达到植物的根。然后, 从五月开始, 觀察到由于强烈水分总支出的結果, 潜水位的降

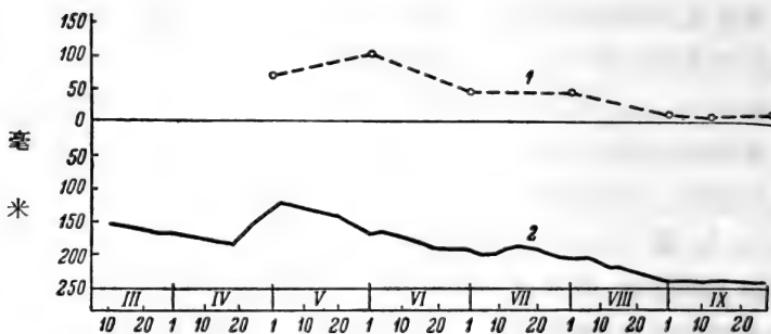


图 11 1931年生长期間由 *Salsola dendroides + Artemisia Meyeriana* 組成的群落中总蒸发(1)和潛水位(2)的变化。
外高加索, 穆干(原图, И. Н. Бейдеман)

低。随着潛水的下落蒸騰也減小, 因为水分已經离开根系起作用的范围。到秋季潛水已經位于300厘米的深处, 而总蒸发的增高归功于这时的秋季降雨。

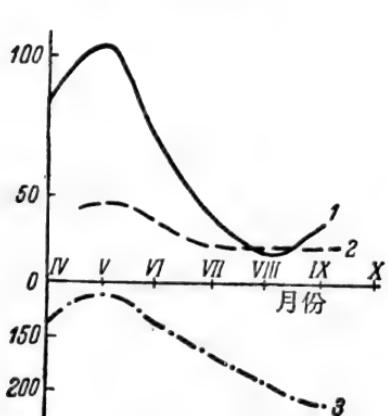


图 12 1931年生长期間 *Salsola dendroides + Artemisia Meyeriana*, *Artemisia Meyeriana + Suaeda microphilla* 等群落复盖的地段的总蒸发(1)的变化, 土壤中水分貯藏的变化(2)以及潛水位的变化(3)。外高加索, 穆干。(原图, И. Н. Бейдеман)

植被对潛水矿化的影响也同样很大, 这特別强烈地表現在干旱地区。根据 B. A. 普里克隆斯基的資料, 庫拉-阿拉克申低地潛水的矿化在夏季由于通过土壤的直接蒸发和植被的蒸騰水分向大气垂直輸出而增加。“后一过程(指植被的蒸騰——譯者)乃是形成特有的水的高矿化变体的干旱带无流洼地潛水平衡的基本支出部分”(Приклонский, 1946)。

И. Н. Бейдеман和A. С. 普列奥布拉仁斯基 (Преображенский, 1957) 写道, 植物在生

长季节只把充分溶解在被植物蒸騰的矿化水 (被植物从潛水中吸

取的)中的盐量的微不足道的一部分运出到地表。例如,曾经确定木猪毛菜 (*Salsola dendroides*) 消耗在蒸腾上的水分在一个生长季节是 2,700 米³/公顷,这时潜水含氯 19 克/升,也就是说充分被吸收然后被蒸腾的水含有 51.3 吨的氯。同时如果假定木猪毛菜干物质中氯的含量等于 2.7% (Голуш, 1954) 并且干物质的量是 2—4 吨/公顷,那么运到地表的氯的数量共 54—108 公斤/公顷;因而,实际上,含于被植物蒸腾的潜水中的全部盐类留在水中和土质层中。所以,土壤溶液和潜水仿佛是被植物出汗,以致在长久的过程中引起无流洼地中厚层盐和高度矿化水的积聚。И. Н. Бейдеман把这个过程叫做“生物学的积盐过程”(биологическое соленакопление)。

植被的演替常常制约于潜水的矿化和埋藏深度的变化,但是植被本身也改变潜水的特性 (Бейдеман, 1954 a; Бейдеман и

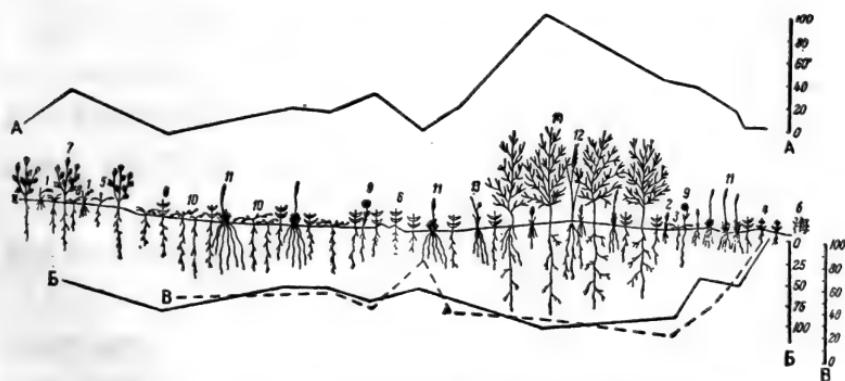


图 13 1946 年 6 月旧基洛夫海湾(里海)以前海底的植被,潜水埋藏深度和矿化度以及蒸腾上的水分消耗的分布的剖面图式。(据 И. Н. Бейдеман, 19576)

A—蒸腾上的水分消耗(占最大量的%); B—潜水深度(占最大深度的%); B'—紧密残渣的数量(占其在潜水中最大量含量的%)。a—6—剖面进程。1—*Bromus japonicus*; 2—*Polypogon monspeliensis*; 3—*Crypsis aculeata*; 4—*Salicornia europaea*; 5—*Suaeda confusa*; 6—*Salsola soda*; 7—*Atriplex tatarica*; 8—*Petrosimonia brachiata*; 9—*Aster tripolium*; 10—*Polygonum argyrocoleum*; 11—*Puccinellia gigantea*; 12—*Phragmites communis*; 13—*Bolboschoenus maritimus*; 14—*Tamarix ramosissima*。

Преображенский, 1957)。

在图 13 上清楚地看到, 蒸腾越高, 潜水埋藏就越深, 它們的矿化也越弱。蒸腾越少, 潜水就越接近地表, 它們的矿化也越高。在沒有进行过潜水研究的苏联任何地帶进行这种研究时, 完全有必要考慮植被的水分消耗数量。

潛水的地帶性

地质学意义上的潛水乃是現代形成物。它們与地理的, 特別是气候的条件紧密地相联系, 并且在分布方面, 象土壤和植被一样, 从属于地帶性規律。

第一个把地帶性原則应用于潛水的是П. В. 奥托茨基(1914)。从这个原則出发, В. С. 伊里因(Ильин, 1930)第一次为苏联欧洲部分編制了潛水分布图。他的略图是根据在气候因子背景上的地貌特征和侵蝕网下切的深度。О. К. 郎格(Ланге, 1947)在評价整个苏联領土的水文条件的时候給 В. С. 伊里因的略图提出若干修正和补充。他划分三个显著独特的地帶性潛水省(провинции зональных грунтовых вод)。О. К. 郎格的略图除了根据气候和地貌因子以外, 并根据地下逕流和蒸發的水文平衡基本要素的对比关系。

Ф. П. 薩瓦連斯基(Саваренский, 1935)曾經把潛水的地帶性与植被的, 土被的和风化方向的地帶性联系起来。

Г. Н. 卡緬斯基(Каменский, 1949)在 Ф. П. 薩瓦連斯基(1935)所提出的那些原則的基础上, 指出潛水的两个类型: 淋溶潛水和陆地盐化潛水。这两个类型相应地形成两个地帶: 1)淋溶潛水地帶和2)陆地盐化潛水地帶(图14)。

前一个带占据苏联欧洲領土大部分平原和西伯利亚的广阔空间, 包括永冻土地区。后一个地帶包括苏联欧洲領土的东南区域以及西部西伯利亚低地南部的干草原地区和中亚荒漠。淋溶潛水也分布于山区。Г. Н. 卡緬斯基(Каменский, 1949)称它們为隱域的(интразональные)。他还区分出具有大陆盐化水隱域地段的

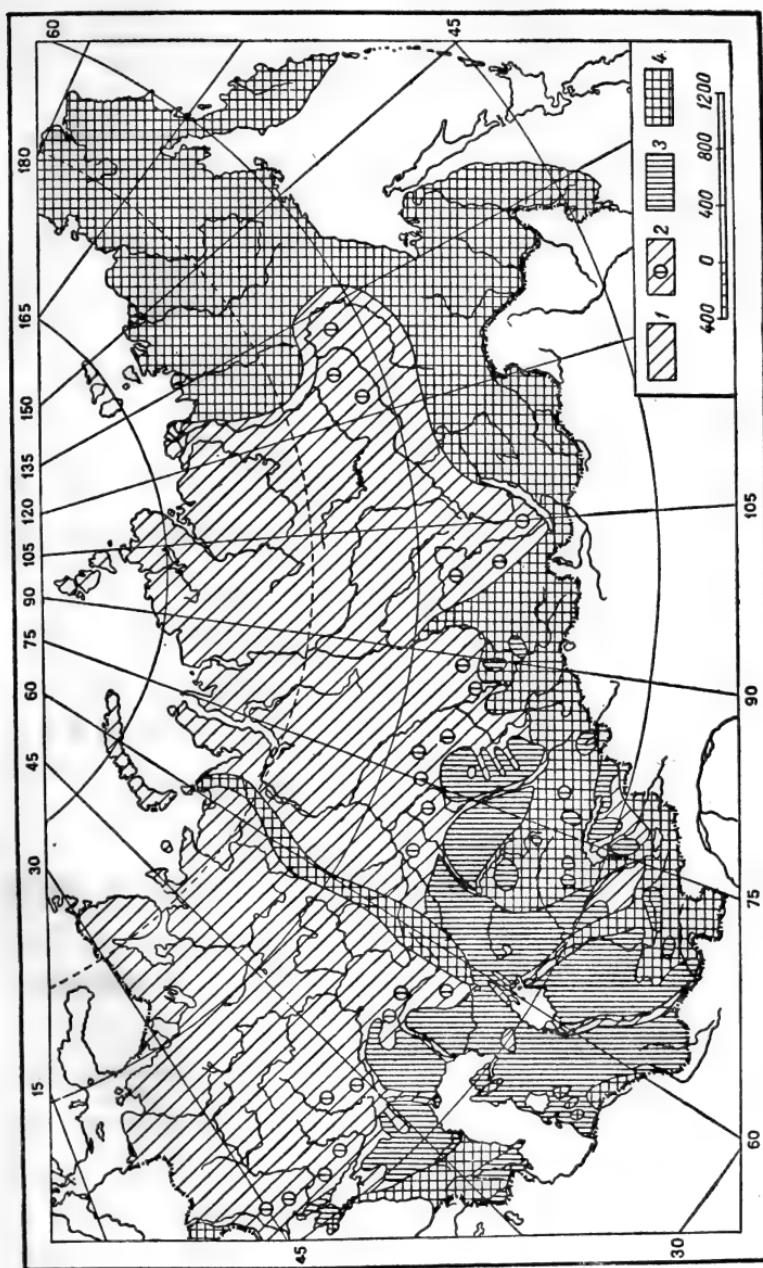


图 14 苏联潜水地带性的概略图(据Каменский, 1949)
 1——淋溶潜水; 2——具有陆地盐化水的隐域地段的淋溶潜水; 3——陆地盐化水; 4——山区淋溶潜水。

表 4 潜水和植被地带性的对比

根据 Г. А. 馬克西莫維奇的水化学相的地帶性	根据 Г. Н. 卡繩斯基的潛水地帶性	根据 А. Н. 魯基捷娃的图的植被地帶性类型
1	2	3
二氧化矽和水-碳酸盐- 二氧化矽可能占优势，有机物质丰富的 冻原水相地带。	淋溶地带。	北极荒漠和冻原 1. 北极荒漠。 2. 北极冻原。 3. 蘚类，地衣冻原。 4. 苔草-羊胡子草草丘冻原。 5. 小灌木冻原。 6. 局部的山地冻原和偃松植丛。 森林冻原和森林。 1. 前冻原的疏林*。 2. 暗针叶林（北泰加，中泰加，南泰加）。 3. 落叶松林（北泰加，中泰加，南泰加）。 4. 松树泰加林。 5. 落叶松-松树泰加林。 6. 泥炭藓沼泽。 7. 西部西伯利亚的楊-樺林。 8. 濱太平洋的樺树疏林和草本植被。 9. 欧洲闊叶-暗针叶林。 10. 欧洲闊叶-松林。 森林草原和草原 1. 草甸草原和草原化草甸（森林草原）**。 2. 典型草丛禾草草原。 3. 草丛禾草和艾菊的东西伯利亚草原。 半荒漠和荒漠 1. 荒漠化的半小灌木-草丛禾草复合草原（北部半荒漠）。 2. 禾草-蒿类复合荒漠（南部半荒漠）。
水-碳酸盐-鈣占优势的 森林带相地带。	淋溶地带。	
硫酸盐，鈉和水-碳酸 盐-鈉占优势的草原 相地带。	具有陆地盐化水隐 域地段的淋溶地 带。	
氯化物占优势的荒漠相 地带。	陆地盐化地带。	

* 在該亚带中的被冻原群落所占据的显域地境按照潜水状况應該列入冻原带。

** 在 Г. А. 馬克西莫維奇略图上表示出的雅庫特共和国維留依河流域中的硫酸盐，鈉和水-碳酸盐-鈉占优势的草原相潜水地带在 А. Н. 魯基捷娃的植被图上沒有反映，然而在比例尺較大的图上在这个区域片断地表示出森林草原。

表 4 (續)

根据 Г. А. 馬克西莫維奇的水化学相的地帶性	根据 Г. Н. 卡緬斯基的潛水地帶性	根据 А. Н. 魯基捷娃的图的植被地帶性类型
1	2	3
山地垂直地帶。	山区淋溶地帶。	3. 短生植物-蒿类和猪毛菜荒漠。 4. 亚热带草原 (半稀树草原)。 山地植被 1. 山地冻原和偃松植丛。 2. 山地泰加暗針叶林。 3. 山地落叶松疏林。 4. 山地落叶松林。 5. 山地外貝加尔松林。 6. 山地远东針-闊叶林。 7. 中緯度和亚热带的山地暗針叶林。 8. 山地闊叶林。 9. 山地灌丛和胡桃林。 10. 高山阿尔卑斯型和亚阿尔卑斯型草甸和高山稀疏植被。 11. 山原旱生植物和杂色植被*。 12. 山地草原*。 13. 高山优若藜和蒿类荒漠*。

* 在山原旱生植物, 山地草原垂直带以及特別在高山荒漠 垂直带觀察到 大陆积聚現象 (явление континентального накопления)。

淋溶水地帶, 这种地帶位于淋溶地帶和大陆盐化地帶之間的边境。

如果对比引用于 Г. Н. 卡緬斯基(1949)著作中的苏联潛水地帶性分布略图和 Г. А. 馬克西莫維奇 (Максимович, 1955)的苏联領土潛水和湖水的水化学相地帶概略图, 并且同时利用植被图 (Лукичева, 1957), 那么可以編制出表, 在这个表中可明显看出植被, 潛水和水化学相的分布之間的接近的符合(表 4)。

从表 4 可以看出, 在 Г. А. 馬克西莫維奇和 Г. Н. 卡緬斯基的著作中指出的潛水地帶符合于一定的植被类型并且差不多彼此重合。这些对比是在植被和潛水类型的广泛綜合的情况下作出的。

在这个領域內的進一步的工作显示出植物群落和潛水的質的組成以及它們的埋藏深度之間的這種相互制約的联系的复杂細节。

通气带的水

通气带的水位于接近地表处。对于这种水不透水庫盤是水分微弱透过的岩石,它們具有不是連續的,而只是透鏡状的分布。上层滞水和土壤水可以列入这类。

上层滞水(верховодка) 埋藏于距地表不深和具有有限分布的地下水属于上层滞水。这些水在局部不透水层上积聚起来,土壤淀积层——这些或那些化合物的机械的或化学的淀积和沉积层有时成为这种局部不透水层。在平坦的地方水停滞起来,常常甚至溢出地表,特別在低地和微碟形地。

这种类型水的水量完全依賴于大气降水。它們在一年中經受显著的变动,通常在干旱期間消失。上层滞水一部分补給潛水,而自己的基本部分消耗于蒸发。属于上层滞水的还有在春季融雪和大雨期間出現的沼泽水。这种形式的上层滞水以特殊的埋藏条件和状况为特征,并且属于沼泽水的范畴。在北方的过度潮湿的区域的上层滞水通常是淡的或弱矿化的。在觀察到大量蒸发的南方,上层滞水是高度矿化的氯化鈉水,在无流的洼地由这种水发生盐类的沉淀,引起盐土的形成。在荒漠和半荒漠的炎热气候条件下上层滞水的貯藏强烈地受限制,它的水是强烈地矿化的,含盐的。只有在冬季和春季潮湿时期在不大的洼地和古河床中形成具有淡水的上层滞水和潛水。在存在傾斜不透水层(淀积层)的情况下土壤上层滞水开始流动,形成土壤逕流;后者也可以发生在所有的土壤层中。土壤逕流在森林地带土壤中是在春季,有时在秋季和夏季被觀察到。流动水的总量不大(Роде, 1955а)。所有沒有用尽的水分从土壤流入土质,一直到不透水层,并且在那里形成潛水。

土壤水 土壤中水分貯藏在自然条件下由于大气降水,空气和底土层的水汽的凝結以及最后,由于潛水的毛管上升而得到补充。

进入土壤的最重要的水分来源是大气降水。土壤中水分最大贮藏是在早春形成。这些贮藏乃是夏季期间许多干旱地区水分不足的补充来源。

A. A. 罗德(Роде, 1952, 1955а, 1955 б)在土壤中区分出土壤水的不同形式和状态。首先他把所有的水分分为束缚水和自由水¹⁾。

他把束缚水再分为包括大部分吸湿水的坚固束缚水和疏松束缚水。

通常把吸湿水(гигроскопическая влага)理解为风干土壤的水分,而在水汽饱和的空气中母质所保持的水分数量叫做最大吸湿量(максимальная гигроскопичность)。这种水被分子吸力保持在土壤颗粒的表面。保持水粒的力量作用于很小距离并且非常之大;它们引起水的很大压缩。吸着水的密度达到1.7,相当于几十倍大气的压力(Роде, 1955)。由于这个原因吸湿水是不活动的,它只有在过渡为水汽状态以后才可能移动。A. Ф. 列别杰夫(1936)认为,在最大吸湿量的情况下土壤颗粒为一层分子所形成的水膜所包围。

疏松束缚水或薄膜水(рыхлосвязанная, или пленочная влага)出现于土壤中,如果土壤与水进行接触的话;在这种情况下一部分水变成为吸收状态。与吸湿水比较起来,这种水已经是被具有较小力量的土壤颗粒所保持。重力也不参加到它的运动;薄膜水的移动是从膜较厚的那些土壤颗粒到膜较薄的那些颗粒。所有由分子吸力保持在土壤中并且符合于土壤的最大浸润性(смачиваемость)的水分数量A. Ф. 列别杰夫(Лебедев, 1936)称为土壤的最大分子湿度(максимальная молекулярная влажность почвы)。它的大小依赖于组成土壤的颗粒的大小。

自由水(свободная влага)在土壤中呈现出不同的形式:1)薄膜-悬着水(пленочно-подвешенная),2)毛管悬着水(капилляр-

1) 所有以后的说明都是根据A. A. 罗德(1952, 1955а, 1955 б)编写而成。

но-подвешенная), 3)对接水(стыковая), 4)团聚体内悬着水(подвешенная внутриагрегатная), 5)毛管-支持水(капиллярно-подпертая), 6)重力水(гравитационная), 重力水再分为渗透水(просачивающая)和潜水(грунтовая)。

薄膜悬着水在或多或少重机械組成(粘土和壤土)的土壤中发生。如果水进入其湿度等于最大吸湿量的土壤,那么它被吸入土壤同时在土壤上层积聚为薄膜-悬着水,但是不是全部土壤孔隙都被水所充满。当它們还只有一部分被充满时,继续增加的水分就开始流走并且湿润下垫的土壤层。該土壤能够保持的薄膜-悬着水

的最大数量叫做土壤的最小持水量(наименьшая влагоемкость почвы),或它的田间持水量(полевая влагоемкость)。薄膜-悬着水处于土壤的毛細管中,同时被在狭窄的毛管孔隙中形成的由束缚水組成的“栓”(пробки)的吸着力所保持(图15)。

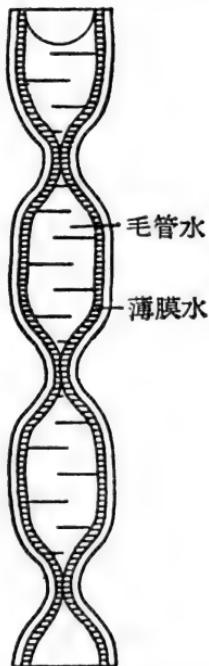


图 15 薄膜-悬着水的保持,具有薄膜栓的念珠状毛細管
(据罗德, 1955 a)

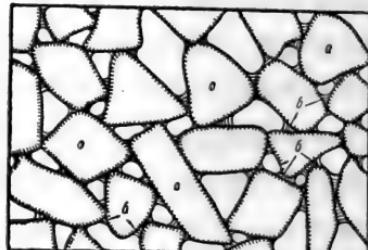


图 16 在土壤颗粒接触点上的对接水的积聚
a——土壤颗粒, 6——对接水。

毛管-悬着水形成于砂质的干燥土壤中或者为比較輕的土质所下垫的重土质中。当水进入这样的土壤时它开始被吸收并且占

据所有的細孔。浸湿会逐渐扩大，直到毛細管中水柱的靜压超过上弯月面和下弯月面之間表面压力之差的大小的那个界限。在这以后水开始往下流。水的下流不是均匀地发生，而是以舌状形式发生。所有的水归根結底流入下层砂中，而在上层只留下对接水。

A. A. 罗德把在这样的土壤中不能保持的那种水分流走以后被毛管力保持在粗机械組成土质中的那种水叫做对接水。对接水形成于环绕土壤颗粒的对接点，但是弯月面在这种情况下具有两面凹的透鏡形式(图 16)。

团聚体内-悬着水。这种水分形式广泛地分布于粘土和壤土机械組成的土壤中。水分位于土壤团聚体(土壤小团块)内的最小管道中，并且十分坚固地保持在它們之中。

毛管-支持水——这是来自潜水的被毛細管举起的那种水。毛管的一端与潜水接触。随着远离潜水面，各个細孔，不管是最大的还是最小的，并不被水所充滿。因此，离潜水越远湿度越低。这种水分分布的全部土质层叫做毛管边缘带(капиллярная камьма)，它直接与潜水相联系。能够以毛管-支持状态被土壤保持的那种水分数量叫做土壤的毛管持水量(капиллярная влагоемкость почвы)。这种水分对供給毛管水植物，将根系下降到这层，并且从这里吸取水分的植物具有巨大的意义。毛管水上升到表面的高度依赖于土壤的提水能力。毛管上升的速度依赖土壤颗粒的大小。土壤颗粒越小(也就是机械組成越重)，毛管上升达到的高度也越大，但是它实现越慢。

重力水——超过最小持水量出現于土壤中并且在重力影响下向下流动的全部自由水。它渗透过土质并积聚在不透水层上，形成上层滞水和潜水。后者充满碎屑岩的所有空处或处于致密大块結晶岩的裂縫和空处中。A.Ф. 列別杰夫(1936)认为所有在重力影响下在岩石中移动的水都是重力水，并将它划分为毛管-悬着水和向下流动的重力水。

土壤让水通过本身(渗透)的能力叫做透水性(водопрони-

цаемость)。水的滲濾沿各个团聚体之間的細孔和空隙进行。土壤越湿,它的透水性越小。因此开始时干燥土壤吸收很多水分,然后,随着它变为湿润,进入的水分数量逐渐减少。森林下土壤的透水性超过其它用地下的土壤的。

“森林残落物层的透水性——A. A. 罗德(1955 a)写道——非常巨大,并且以每分钟数百毫米测量。可是除了残落物层本身具有大的透水性以外,它还促使下垫矿质层保持高的透水性”。

在土壤的全部空隙,不管毛管的或非毛管的都完全饱和的情况下土壤本身能够容纳的水量叫做最大持水量(полная влагоемкость почвы)。土壤中水分数量是植物水分状况的非常重要的条件。可是不是土壤具有的全部水分都被植物所吸收,而只是它的一部分。

大家知道,水分进入植物是借助于两个《发动机》:下面的——根和上面的——叶的工作而实现。下面的发动机——根——与由土壤溶液的渗透压和土壤固体部分的吸着力组成的土壤的保水力有关系,渗透压依赖于土壤溶液的浓度,而吸着力依赖于土壤的机械组成和它的湿度。Л. С. 李特维諾夫(Литвинов, 1937)曾经测量过根的吸收力,发现它等于1—2大气压。Г. 勒麦(Lemée, 1953)曾经在撒哈拉荒漠观察过许多植物根系的吸收力,发现它们的吸收力变动于4.5到12.5大气压之间。Andropogon laniger的个别个体在干燥基质中的吸收力等于8—20大气压。按照这位学者的意见,这个最后的数值与土壤的保水力差别很小,这种土壤的保水力在凋萎系数的情况下等于16—18大气压。在强烈蒸腾时植物的吸收力可以达到5—10大气压。

关于不同植物种消耗不一样的水分数量的思想很早以前就产生了。例如,C. 波格丹諾夫(Богданов)在1889年曾经确定,植物必需的最小水分数量等于土壤最大吸湿量的两倍,并且对于他所研究的所有植物种种子的发芽是相同的。

A. A. 伊茲馬依爾斯基(Измайльский, 1892)曾经指出,种子发芽的最小土壤湿度等于11—12%。Л. 布里格斯和Г. 山茨(Bri-

ggs a. Shantz, 1912)引入了萎蔫系数 (коэффицент завядания) 的概念。按照他們的定义, “当生长于該土壤中的植物的叶子由于水分进入不足的結果第一次表現出湿度稳定降低特征的那一瞬间的土壤湿度(以土壤干重的百分数表示)叫做土壤的萎蔫系数。稳定降低被理解为不給土壤增加水分叶子在几乎水分饱和的大气中不能恢复原状的那种状态”。学者們的基本結論是, 萎蔫系数的值不依植物种为轉移, 不同植物在同一土壤湿度情况下萎蔫。这个值与空气-吸湿湿度 (воздушно-гигроскопическая влажность) 相符合。按照他們的意見, 高于这个值的水分对于植物是有效的。

植物的有效湿度 (доступная влажность) 根据两个值确定: 1) 相当于萎蔫开始并且符合于萎蔫系数的植物临界土壤湿度 (критическая для растений почвенная влажность) 的值, 和 2) 固定水分貯藏量 (мертвый запас влаги) 的值, 也就是植物不能从土壤中获得水并且因而死亡的土壤中水分数量。后一数值大致等于土壤最大吸湿量的值。萎蔫系数的值, 或萎蔫湿度 (Роде, 1955a) 等于最大吸湿量的 1.3—1.5。在农业气象机关采用系数 1.34。H. A. 卡欽斯基 (Качинский, 轉引自 Роде, 1955a) 认为比較正确的数值是 1.5。在砂土萎蔫湿度的值等于 0.5—1%, 在壤土是 3—10%, 而在粘土是 10—15%, 甚至更大。

因此, 在萎蔫湿度和固定水分貯藏量之間存在某种土壤湿度的間隔并且对于植物是致命的。

萎蔫系数随植物的年齡而改变并且依植物种和依土壤溶液的渗透压为轉移 (Федоровский, 1948)。例如, 在黑土上萎蔫湿度对于亚麻是 18.0%, 对于黃瓜是 17.8%, 对于盐角草 (*Salicornia europaea*) 是 16.4%, 对于小麦是 15.5%, 对于俄猪毛菜 (*Salsola ruthenica*) 是 13.8%。

超过作为萎蔫湿度特征的那种数量的保持在土壤中的水分对于植物也不是一样有效。曾經証实, 存在着这样的湿度, 在这种湿度或低于这种湿度情况下可以看到植物的水分供应变坏, 它們的

生长减慢。这个值等于最小持水量的 65—70%。A. A. (Роде, 1955a) 把它叫做生长减慢湿度 (влажность замедления роста)，它大致等于最小持水量的 70%。在这个范围以下植物很难吸收水分的原因在于土壤中水分移动性的程度。植物吸收水分的根毛具有 0.01 mm 的直径。这些根毛吸收与它们相接触的那种水分。在砂质土中，那里细孔远大于直径，这很容易实现。在壤质土和粘质土中水分处于根毛不能钻入其中的那样大小的细孔中。只有在那种情况下，如果移动着的水分自己流到根毛，它们才能够被吸取。所以，水分在土壤中越容易移动，它的流动性越大，它越能较好地供应植物。土壤水分流动性程度决定它对于植物的有效性。

区分出 (Роде, 1952, 1955a, 1955б) 下列土壤水分流动性等级：

- 1) 所有坚固束缚的水分处于不流动状态，它只能以蒸汽形式的状态移动；
- 2) 疏松束缚水 (薄膜水) 可以移动，但是这种移动是在吸着力的影响下从一个颗粒到另一个颗粒进行的，并且进行的很慢；
- 3) 在从最小持水量到毛管断裂湿度的湿度间隔中，当水分破碎分成个别极微小的，以包围颗粒的薄膜一个与另一个相联结的堆积的时候，水分的移动以非常小的速度沿这种薄膜发生，还有自由的吸着封闭水 (сорбционно-замкнутая влага)，但它是中等移动的；
- 4) 当湿度超过最小持水量时在土壤中出现的自由水，重力水是容易移动的。

生长减慢湿度接近于毛管断裂湿度 (влажность разрыва капилляров)，同样也等于 70%。由于这个原因，在毛管断裂湿度情况下水分移动很微弱，它的吸收被阻碍着。最小持水量乃是对于水分吸收的转折点，因为高于它出现自由重力水。

A. A. 罗德根据土壤水分对于植物的有效性区分出下列土壤水分类别：

- 1) 无效水 (недоступная) —— 从零到最大吸附湿度 (максимальная адсорбционная влажность) 的湿度间隔；
- 2) 极难有效水 (весьма трудно доступная) —— 从最大吸附湿度到萎蔫湿度；
- 3) 难有效水 (труднодоступная) —— 从萎蔫湿度到毛管断裂湿度；
- 4) 中等有效水 (среднедоступная) —— 从毛管断裂湿度到

最小持水量；5)易有效水 (легкодоступная), 过渡到水分过剩——从最小持水量到最大持水量的湿度間隔。

仿照 Г. Н. 維索茨基(Высоцкий, 1899, 1911, 1933), A. A. 罗德区分出三种土壤水分状况类型(типа водного режима почвы): 1)淋洗的 [промывной, 透过的 (пермацидный)]、2)非淋洗的 [непромывной, 非透过的 (импермацидный)] 和3)渗出的 (выпотной, эксудационный)。

水分状况的淋洗型的特征是全部土壤-土质层直到潜水每年湿透。每年一部分降水渗透过土壤并且在潜水中流走。因此这个类型叫做淋洗的。例如, 在森林下灰化土中有这样的水分状况。

非淋洗型的水分状况的特征是没有土壤-土质层的全部透湿。降水只浸湿土壤的上部, 不深于3—4米, 而有时只有几厘米。潜水位于很深的地方, 在12—15米或更深。在土壤浸湿的上部和在其上具有毛管边缘带的潜水之间分布着具有大致等于萎蔫系数的湿度值的土质层。这一层, 按照 Г. Н. 維索茨基(1899), 叫做死层 (мертвый горизонт)。这样的水分状况类型是黑土变体、栗钙土、棕钙土、灰棕荒漠土和灰钙土的特点。在森林草原地区这样的状况偶然见于森林下的灰色土, 暗灰色土和退化黑土上。

渗出型的水分状况的特征是, 来自潜水的水分以毛管支持水的形式接近地表, 并且与土壤表层水分相连接。这样的水分状况类型特别为具有盐生类型植被的盐渍化土壤所固有。

这种或那种水分状况类型的形成依赖于许多原因。A. A. 罗德(1955a)列举出的是: 1)按不同方式吸取水分的植被(植被的演替伴随着土壤水分状况的演替); 2)决定降水量和蒸发力的气候; 3)土壤的物理特性; 不同机械组成的土壤按不同方式保持水分并且具有不同的持水量; 4)地形; 例如在碟形地中从周围地面流入较多的水, 并且这点反映在水分状况类型的形成上; 5)决定土壤这种或那种母质的存在的地质因子; 这些母质的埋藏深度和物理特性影响到水分状况类型。

陆地的大部分面积是水分状况的淋洗型和非淋洗型占优势。

渗出型分布不广。

И. Н. 貝德曼所区分的植物类型与这些土壤类型有一定的联系。例如，雨水植物基本上是存在于水分状况的非淋洗型和淋洗型的情况下(它們依靠吸收大气降水生活)；毛管水植物存在于渗出型的情况下或具有浅潜水的淋洗型的情况下；潜水植物存在于渗出型或非淋洗型的情况下，同时在后一情况中是在根系足够长或在潜水埋藏不很深的情况下。在植物群落中可能結合着水分状况不同的植物类型(Байдеман, 1954)。

土壤水分永远含有溶解的盐以及其它的物质，因而是溶液。所以它通常也叫做土壤溶液。这是土壤的液相。雨水在落到土壤之前經过大氣时溶解各种气体和某些其它物质。除氮、氧、二氧化碳外，它还含有氨和氧化氮。水一落进土壤，它就与不同的土壤有机和无机化合物开始起反应。土壤溶液的和它們在它的化学性是不一样的并且經常改变。在潮湿年份，当許多水被带进土壤的时候，溶液的浓度减低，在干旱的年份，相反，浓度增加。在土壤溶液中有許多微生物。

植物是改变溶液的因子之一，它从溶液中取得它所需要的物质并且本身带入土壤一系列物质。

Г. А.馬克西莫維奇(1955)曾經确定了土壤溶液的緯度地帶和垂直地帶；他确定了九个緯度地帶。垂直地帶性(垂直带性)有多种多样的表現。“在北半球，随着从北向南移动，由于从寒溫的和十分潮湿的气候的到热而干燥的气候的变化，土壤水浸提液的总矿化度逐渐增加。这是有賴于土壤溶液中各个离子含量的增加而发生，同时土壤溶液的浓度从冻原土壤到森林带的灰化土，草原的黑土和栗鈣土以及盐土再到半荒漠和荒漠的盐土增大”(Максимович, 1955)。

該学者引証了关于不同地帶土壤中水浸提液矿化度的資料，在森林带的灰化土中矿化度等于7—339毫克/升，在草原带的黑土中——45—894毫克/升，在半荒漠带——58—2958毫克/升。荒漠和半荒漠地帶盐化土和盐土中的盐分含量变动于180—95880

毫克/升的范围内。

在土壤剖面中沿垂直方向土壤溶液的浓度也同样改变着。在蒸发强烈的荒漠带,土壤剖面的上部土壤溶液浓度从下向上增加。相反,在森林带,丰富的大气降水冲淡了土壤剖面上部的土壤溶液。

Г. А.馬克西莫維奇 (1955) 列举了表明按地理带的土壤溶液运动方向的表(表 5)。他指出两种方向:在水分过剩地区它是下降的,在水分亏缺地区是上升的,还在 A. E. 費尔斯曼 (Ферсман, 1934) 就曾经指出过这种情况。

表 5 按地理地带的土壤溶液的优势水化学相和新生体

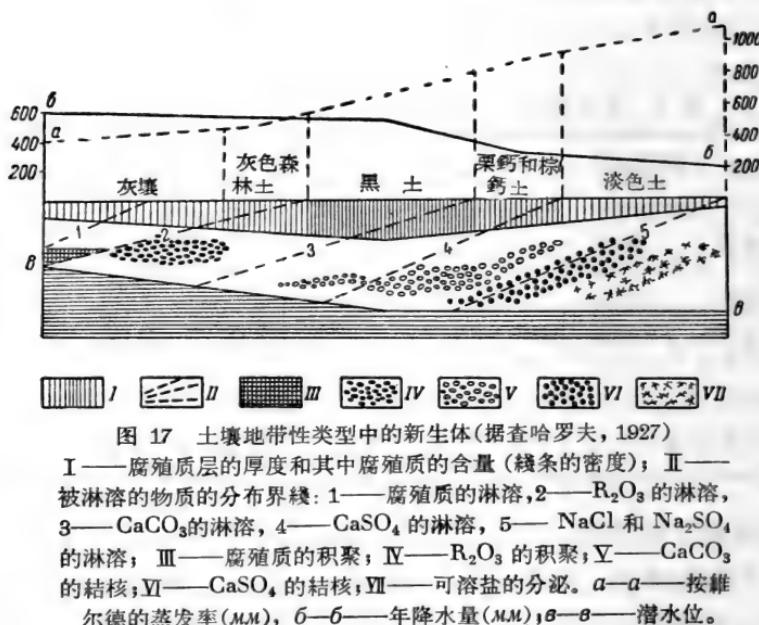
地理带	溶液运动的方向	占优势的水化学相	占优势的新生体組成
冻原地带	下降的	SiO_2 , $\text{HCO}_3\text{-SiO}_2$	SiO_2 腐殖质物质 (C), $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$
森林地带	下降的	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{R}_2\text{O}_3\text{-Ca}$	CaCO_3
草原地带	下降的和上升的	$\text{HCO}_3\text{-Ca}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
荒漠地带	上升的	SO_4 , Na , $\text{HCO}_3\text{-Na}$	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$
热 带	上升的	$\text{SO}_4\text{-Ca}$, Cl-Na	NaCl
	下降的	SiO_2 , $\text{HCO}_3\text{-SiO}_2$	SiO_2 , Al_2O_3 , Fe

从表 5 的資料出发, Г. А.馬克西莫維奇作出下列結論:

在冻原地带土壤溶液中二氧化硅占优势;它在水中溶解度的增高与腐殖酸的存在相联系,而它作为可溶性最小的物质从溶液中沉淀出来。在溫和气候的森林地带除了二氧化硅的新生体以外还有鐵的(褐鐵矿)和碳酸盐的新生体。森林地带以风化的硅鋁-粘土型为特征。草原地带的新生体比較多种多样;这里与二氧化硅的和碳酸盐的新生体出現的同时还見到石膏和苏打。荒漠的新生体很特殊;这里典型的是岩盐,同时依湿潤度为轉移形成为二氧化硅,方解石,石膏或岩盐所固結的荒漠壳(пустынная кора)。在这种情况下除了上述典型的荒漠壳以外还觀察到过渡的,也就是二氧化硅-碳酸盐的和碳酸盐-石膏的壳。在以紅色的或富鋁性的风化为特征的热带,与二氧化硅和鐵的积聚的同时也見到砖紅

壤性的新生体(Максимович, 1955)。

C. A. 查哈罗夫(Захаров, 1927)还在更早就直观地表示过按地带的新生体的变化。这位学者曾经确定, 依降水量和蒸发率(更正确地说——蒸发)的对比关系为转移不仅植被的性质改变, 而且土壤形成过程的方向也改变。在图式(图17)上绘出从卢库斯(锡尔河下游)到列宁格勒的土壤发生层次组成的变化。



在黑土中腐殖质层 A 的厚度达到最大, 在淀积层中积聚着碳酸钙, 有时积聚着石膏。在灰化土中 A 层的厚度减小; 在淀积层中积聚半氧化物以及部分的腐殖质, 在淋溶层中积聚硅酸。栗钙土和灰色森林土占据中间的位置。

灌 漑

灌溉所指的是人工供给农地水分。

陆地表面四分之三以上没有足够数量的自然水以栽培农作

物。根据 Н. Д. 古拉吉(Гулати, 1957)的資料,全世界的灌溉面
积是 121 百万公頃。在苏联,灌溉地的最大面积分布于占据着中
亚广闊平原的荒漠地区。

有三种灌溉方式:地面灌溉,人工降雨灌溉和地下灌溉。

在地面灌溉(поверхностное орошение)的情况下水以自流
方式沿地表面分布。分配是借助于地面淹浸,漫灌或沟灌的方式
进行。淹浸方式广泛地应用于水稻灌溉,盐渍土壤的冲洗。在漫灌
的情况下水以薄层沿长条伸展的地面均匀地移动,在谷类作物和
撒播草最常采用。沟灌主要用以灌溉寬行距条播和正方形点播的
作物以及糖用甜菜,馬鈴薯,蔬菜等等的栽植。

人工降雨灌溉(дождевание)是农作物灌溉的机械化方式,在
这种情况下在压力下的水借助于人工降雨机噴濺到空气中,然后
以降雨形式降落到灌溉面积上。这一方式具有許多胜过其它方式
的优越性。

在地下灌溉(подпочвенное орошение)的情况下,水借助于
安設在 35—60 厘米深处的地下輸水管进入灌溉面积。采用陶管、
人工鼠道,在不大的压力下水从其中流动的梢捆作为輸水管。

在效用期間灌溉可以有規律地进行,这时供給植物水是在一
定时期和以必需的数量,并且一次地进行。借助于阻留雪水而实现
的蓄水灌溉(лиманное орошение)属于最后的方式。在存在来自
分布較高的集水区的水流,从池塘,水庫或河流氾濫排泄春水的情
况下在平原上采用这种灌溉方式。在被灌溉的面积上借助于在下
游和侧面圍繞它的土堤把水阻留起来。蓄水地中水停留的持續時
間依被灌溉的作物,土壤-土质的透水性以及所要求的湿润深度为
轉移而确定。

根据Л. А.馬諾希娜(Манохина)、И. В. 拉林 和 З. С. 阿基
姆泽娃(Акимцева, 1956)的資料,杂类草-冰草-鵝冠草群丛的草
甸的春季蓄水淹浸在 4,700 立方米/公頃灌水定額的情況下淹浸
66 小时,比起沒有灌溉的草甸来,增加收获 76%。

在整个灌溉季节供給田地的水的总容积叫做灌溉定額

(оросительная норма), 它以一公頃的立方米数表示。灌溉定額划分为份——在一定期間灌出的水的容积, 这叫做灌水定額 (поливная норма)。灌水定額以 1 公頃上一次灌水供給的水的数量計算。在灌水的时候土壤的根分布层應該获得这样的水量, 这种水量与被湿润层中的水的貯藏量一起完全地保証所栽培植物对水分的需要。

灌水定額的大小通常作为相当于最小持水量的水容积和灌水之前存在的水貯藏量之間的差数确定, 为了計算灌水定額采用方程式: $m=HA(R-r)$, 式之 m ——灌水定額 (米³/公頃); H ——考虑到植物根系的分布, 灌水之間期間的长度以及土壤中所需水分貯藏量的應該使之湿润的土壤层 (以米表示) 的厚度; A ——被湿润层中土壤的孔隙度 (以%表示); R ——被湿润层土壤的最大田間持水量 (以孔隙度的%表示); r ——灌水前土壤的湿度 (以%表示)。

在具有盐漬化土壤的地方必須进行灌水时應該安設排水沟和集水渠以便排除无用的盐漬化水, 如果不这样可能增加灌溉面积周围地区土壤的盐漬化。

牧場栽培的灌溉不同于其它农作物的灌溉。牧場植物 (草甸的和播种的) 具有比較不是很深的根系, 因此它們需要較少量的, 但經常的灌水。

Д.托爾恩(Торн)和Х.彼得逊(Петerson, 1952)认为, 在放牧場上排水沟之間的距离應該比在灌溉其它作物的情况下要小些, 因为沿生草化的地面水移动較慢, 同时較快地渗入土壤, 必須大的水流以便地面迅速被水覆盖。在地形不平坦的情况下最好由灌溉渠浸淹地方。对于牧場这些学者建議按带或按格田灌水。借助于人工降雨灌溉牧場获得良好的結果。

地植物学研究时的水文研究方法

在地植物学研究組成中进行的所有水文学的和水文地质学的

工作可以分为路綫的和定位的。

路 線 調 查

在路綫調查的時候必須具有符合于工作詳細程度的比例尺的区域地图。在踏勘調查的情況下地图的比例尺可以較小 (1:1,000,000)，在詳細的研究時則要求以等高綫繪出地形的較大比例尺 (1:50,000) 的地图。還必須具有用平行地面研究判讀的航空測量材料 (Галкина, 1937, 1948, 1949, 1953; Виноградов 和 Леонтьева, 1957; Преображенский, 1957; 及其他人)。

在路綫調查時進行地域的水文網，潛水和水文狀況的記載以及水指示圖的編制。

河流的記載以及水體和水道的研究

在記載河流時指出：1) 河段的境界和它的長度，集水的面積，主要的支流；2) 河谷的性質以及斜坡的分割程度，河岸和階地斜坡的寬度、高度和陡度，河岸和階地的土壤-土質以及植被；3) 河漫灘的寬度（最大的、最小的和占優勢的），它的表面的性質（長丘和被舊河床，湖泊和支河的切割程度），沼澤化程度，潛水埋藏的深度，分布於河漫灘上的用地的性質，河漫灘的土壤-土質和植被的性質，還有河流氾濫的寬度，在通常的，最小的和極端最高的洪水時淹沒的時期和深度（氾濫的寬度根據高水的標記或根據訪問的資料確定）；4) 河床的性質，它的彎曲度，分叉度，被植物根淤塞的程度，穩定性，叢生程度；5) 在河流的河口段和在支流匯合處的壅水現象：在各個地點的河床的寬度，它們的高度，土質，河旁堤的有無，堤壩的修築；6) 水的化學性、顏色和透明度；7) 沉積物的性質以及它們在河漫灘上的分布；8) 水流的狀況（根據訪問資料）。

在描述河流時距離的確定根據小舟的行程進行（Близняк, 1952）。河流的寬度（到 300 米）根據拉緊的纜索，視距儀（從 500 到 1000 米），測角器或目測測量；河漫灘的寬度用步測，視距儀和

目測測量。根據訪問老住戶搜集關於水位變動，春泛的開始，它和洪水的性質，通過的時期，高水位停留的持續時間的情報。

在地植物學研究時的水體和水流的研究中包括河漫灘、水流和水體的狀況的比較詳細的研究。隨著河流中水的升高發生河漫灘中潛水位的上升和水量狀況的改變，這自然應該反映在植被的組成和性質上；這種情況在河流上建築壅水建築物的時候必須考慮到。

為了說明河谷的一般性質，穿過全部河漫灘設置達到高水標記的剖面，剖面地點在大比例尺圖上選擇，如果沒有圖，則根據對被研究的河流地段和植被的初步認識的資料。沿剖面進行簡單的水準測量，並平行地記載植被，同時確定水位的最高標記。並且注意沼澤化的程度和確定潛水的埋藏深度以及它們的化學性（採取水樣做化學分析和確定懸浮泥沙；參看後面的《定位研究》）。仔細地研究河漫灘上沉積泥沉積的性質和它的厚度；採取沉積泥的樣品以便在定位條件下確定它的機械組成和化學組成。

從地植物學支隊所感興趣的主要水流，水體，水泉和鑽孔中採取作化學分析用的水樣。水樣的採取不應該在傾倒污水和以垃圾弄脏水岸的工廠和居民點的附近進行，同樣不應該在淺水區，岸邊，牛軛湖，叉槽中等等地方進行。在河流，小溪中樣品於白天在深水線的水的表層中採取。在採取樣品之前，用泉水溫度表（подниковый термометр）檢查水的溫度，為此將溫度表沉入到0.5米深處2—3分鐘，並且進行精確度到0.1°的讀數。在這以後把水灌滿由無色玻璃製成的容量為1公升的瓶，同時定性地確定水的顏色，透明度，味道和氣味。水的透明度的鑑定用目力進行：非常透明的水——在水中沒有懸浮物質，透明的——有微不足道數量的懸浮物質，弱混濁的——存在很清楚的懸浮物質，混濁的——瓶中的水不透明。在附註中應該指明懸浮物質的性質和它們的起源。

為了鑑定水位變動的特徵，在沒有組織定位觀察的情況下，在移動測水哨上進行水位觀測。這種哨是設置在當時進行河漫灘研

究的河流地段上 (Близняк, 1952)。如果在研究的区域所感兴趣的只是最高水位, 那么可以采用最简单的自动水标尺, 例如 E. B. 布里茲尼亞克 (Близняк, 1952) 系统。最大的水标尺具有沿高度有小孔的細长形箱子的形状; 它的内部表面涂着容易洗去的, 用水稀释的顏料(可以稠密地涂上稀释的白堊)。在水升高或降落之后根据染色的水标尺表面的顏色的改变可以判断出水位。在描述水道网的时候應該遵照“水文勘查規范……” (1942) 的相应的章节。

潛水的研究

如 Г.Н.卡緬斯基 (1947) 所指出, 在研究潛水的时候首先考虑区域的地质构造: 岩石的組成, 含水和不透水岩系的埋藏和分布, 它們的厚度以及裸露在地表的程度。在这种情况下第四紀沉积物具有巨大的意义, 通常最强大的潛水盆地和潛水流与第四紀沉积物相联系。此外, 考虑在很大程度上确定河流网切割深度和地下逕流方向的地貌条件, 以及潛水状况的基本特点所依賴的气候和水文因子。

潛水是借助于布置钻孔进行研究。钻孔的地点由地植物学家和水文地质学家共同选择。植被的指示特性可以作为布置钻孔时的定向器。地植物学家應該在钻孔附近做植被的完全記載, 并在自己的野外記錄本上或在記載表格中在植被記載号碼的旁边記上钻孔的号碼。在布置钻孔的时候采用手动的冲击-旋轉钻 (ручное ударно-вращательное бурение), 这种钻是借助于专门的钻孔仪器和设备进行。它的全套包括: 1) 钻杆, 在它的尖端还有其它的附件, 2) 套管, 3) 带附件的钻探架 (井架), 4) 輔助工具。

为了进行钻孔需要两三个工人。在钻孔不深 (2—8米)¹⁾ 的情况下采用直径 37 毫米的“地质钻”。这种钻的全套包括: 1) 钻尖 (螺旋管), 铲形钻, 泥泵, 凿子, 旋轉削刀; 2) 8 个钻杆, 每一个长 1 米;

1) 在专门研究自流水的情况下钻孔可能达到几百米深。

3)万能螺旋鉗,利用它进行钻杆和钻尖的擰紧螺絲和擰松螺絲,以及在钻孔时轉动带钻尖的钻杆。钻的所有部分安置于木箱中;包括箱子在内的它們的总重量是16公斤。

在钻孔的时候进行钻孔的記錄,在記錄中記下下列資料:机关的名称,位置,钻孔口的座标和标高,钻孔的全部深度,地质岩层的号码以及它們距地表的埋藏深度,同时記載含水层的位置,它們的厚度,埋藏的深度,钻孔中水的第一次出現,稳定水位,对于无压潜水是自由的和对于承压潜水是水压的地下水位,还有植被的性质。除此以外,确定含水层的出水量和水质。

在水文地质研究的时候也采用电探(электроразведка)法,这种方法是根据依岩石中水和盐溶液的含量为轉移的岩石的导电量的改变(电探法的描述参阅 E. B. 布里茲尼亞克的书, 1952)。可能含水的疏松多孔的岩石,比起致密的甚至具有裂隙地下水的岩石来,具有小得多的相对电阻。因此,如果在电测的情况下相对电阻表現出显著的降低,那么这表明存在含水层。借助于电测可确定潜水面的位置。

电探法(电阻法)的实质如下:通过具有长50—75厘米的鋼柱形状的电极,从电池組(由干电池組成)发出恒定电流。在另一对电极之間用电位計測量电位差 Δv 。在通过它們发出恒定电流的电极之間的距离不大的情况下,电位計表示出分布在上层的岩石的相对电阻(所获得的值将說明其直径等于电极之間距离的半球的特征),如果拉开电极,那么电位計就測出比較深层的电阻。因此,当測量电极之間距离(差)并且确定在不同差情况下的相对电阻的时候,可以繪制出相对电阻的改变与岩石埋藏深度的依賴性的曲綫(后者在所有情况下等于电极間距离的一半)。

根据所获得的資料在图上繪出所謂等电阻綫(изома)的相对电阻的分布曲綫,这种曲綫使我們易于判断含水层的埋藏。为了使图具有应有的根据必須布置若干钻孔。

水文图和水指示图的編制

在广大地域的地植物学和水文学共同研究的情况下通常进行小比例尺($1:1,000,000$)路綫的或面积大比例尺($1:50,000$)(площадная крупномасштабная)的地域水文地质测量。在詳細研究(以排水或灌溉等为目的)的情况下进行比例尺为 $1:5,000$, $1:2,000$, 和 $1:1,000$ 的面积测量。地质-岩石图和地植物图是編制水文地质图的底图。在这种底图上以特殊的符号繪出关于区域含水性的資料:泉源、水井和钻孔的分布,它們的富水性,化学性,等等。同样繪出河流、小溪、湖泊以及其它表明地下水排水的水体。全部图例以相应的說明繪在图的图例表中。

在研究作为区域水文鑑定的基本原始材料的泉源时必須确定: 1) 泉源的位置; 2) 泉源露头地点的地形; 3) 泉源露头的标高; 4) 地质构造以及补給該泉源的含水层; 5) 泉源的类型——上升的, 下降的, 喀斯特的; 6) 泉源的出水量; 7) 水的溫度; 8) 水的物理特性(顏色, 泥土沉淀物的有无以及其它); 9) 水的化学組成。

在研究水井的时候指出水井的位置, 水埋藏的深度, 含水岩石的組成, 水的物理和化学特性等等。为了記載这些必須采用相应的表格。

初步水文地质图是在野外工作时編制, 这样可以免除对研究区域水文地质构造的这些或那些模糊不清。图應該給出关于潜水、含水层的露头以及关于深层地下水的明晰的概念。图 18 表示出水文地质图的一部分, 在图上繪出含水层、泉源露头、钻孔以及其它。为了查明潜水表面, 也就是潜水面的性质, 必須具有足够的点数¹⁾ (例如钻孔), 在其上應該測量水位并且計算出标高。把潜水埋藏的标高繪在图上。然后把同样高度的点联結起来, 就可以获得潜水表面的等高綫或地下水等高綫(гидроизогипса) (Саваренский, 1935)。潜水表面用地下水等高綫表示的这样的图

1) 钻孔的数目按照 B. H. 波波夫(1955)的指示确定。

提供关于潜水流的表面和方向的概念以及在任何点确定潜水埋藏深度的可能性。

水文地质学家和地植物学家共同描述的地段画在图上并且作为进一步工作的指针。如果这种地段的数目对于编制水文地质图不够，那么可以进行区域的选择性制图，在这种区域中具有最广泛的使研

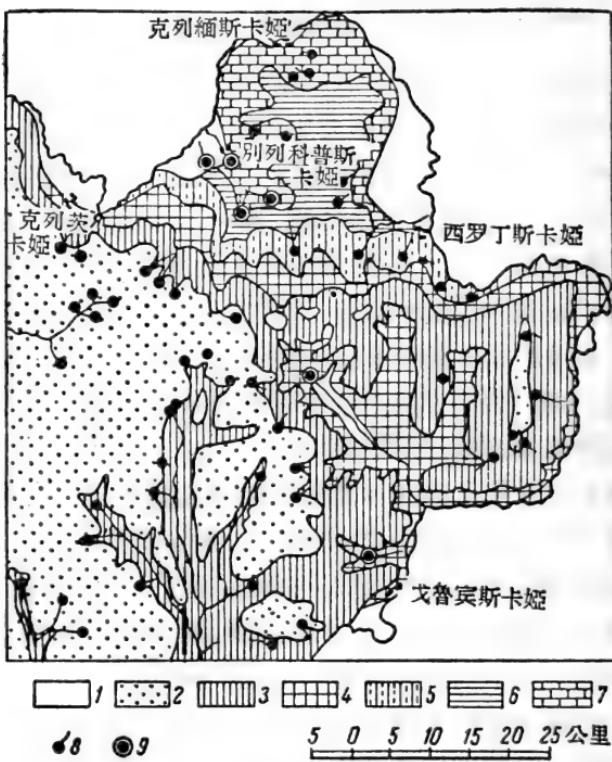


图 18 水文地质图(据卡缅斯基, 1947)
 1—第四季沉积; 2—旧第三纪; 3—塞隆; 4—图隆;
 5—塞諾曼; 6—侏罗; 7—石炭; 8—下降泉; 9—
 上升泉。

究者感兴趣的对象，例如位于接近地表的和强烈地矿化的潜水，或者相反，能够用以灌溉牧場的淡水。

在研究植被与潜水之間的相互联系的时候最好与水文研究并行地进行全面的地植物学测量，然后编制兼有地植物学的和水文地质学的内容的水指示图。

C. B. 維克托罗夫(1955)建議，在编制这种图的图例之前先编制水指示方案(гидроиндикационная схема)。說实在的，这是综合表，在其中指出在这些或那些水文地质特征情况下的植被的特性。以后水指示方案被概括和简化并且作为图的图例(表 6)。

为了編制这样的方案，必須从地植物学的觀点仔細地描述选择的地段[索引地段(ключ)]并且从水文地质学方面鑑定它們的特征。植被和水文地质特征上相似的地段[标准地段(эталоны)]相互比較，其結果就获得說明这种或那种水文地质現象特点的相应的«一套»地植物学特征。

表 6 近烏拉尔(Приуралья)半荒漠区域之一的水指示方案
(据 E. A. 沃斯托科娃, 1955)*

潛水埋 藏深度 (m)	植物群落——潛水指示体		
	淡的, 可供飲用的好水	微鹹的, 能够飲用的水	鹹的, 不适 于飲用的水
0—1.5	1. 有中生植物参加的芦葦植 丛。 2. 柳树和胡頹子群丛組。 3. 沙生蘆草群落。	有猪毛菜类参加的芦葦植 丛。	盐节草群落。
1.5—3	1. 梯子茅的。 2. 巨野麦的。 3. 茛芨草-梯子茅的。 4. 茂芨草-巨野麦的。 5. 茂芨草-苦参的。		
3—5	1. 茂芨草-賴草-伏諾藜的。 2. 展枝蒿群落。	1. 茂芨草-駱駝刺的。 2. 匙叶草的。 3. 展枝蒿的群落。	
5—10	1. 灌木-針茅的。 2. 有茂芨草参加的針茅-羊茅 群落。		

* 很遺憾, E. A. 沃斯托科娃沒有引用植物的拉丁名称, 这降低了这个有意义的表的价值。

知道了植物輪廓在图上的配置和它們的水文地质鑑定以后, 就可以确定潛流的方向以及它的尖灭或排水的区域。

E. A. 沃斯托科娃(1955)在自己的著作中詳細地論述了关于水指示图的編制。她认为, 水指示图不是严格地地植物学的, 因为在它們上面有时必須划分不等价的植被单位。例如不是水的指示体的相近的群丛可以联合起来并且以一个指标标记。做为水指示体來說是重要的其它群落則必須标示在图上, 即使在它們具有微

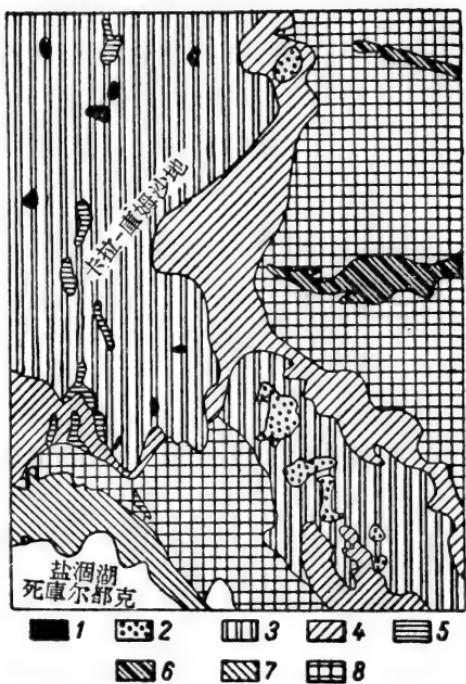


图 19 水指示图。滨里海卡拉-库姆。(据沃斯托科娃, 1955)

1—骆驼刺植丛 (*Alhagi pseudoalhagi*), 潜水深3—5米, 淡的或微鹹的; 2—无叶假木贼 (*Anabasis aphylla*), 潜水深至8米, 淡的或微鹹的; 3—碟形地中的具有骆驼刺 (*Alhagi-pseudoalhagi*) 有賴草 (*Aneurolepidium sp.*) 植丛参加的蒿类-伏諾藜群落, 潜水在5—10米深; 4—碟形地中的有无叶假木贼植丛 参加的蒿类和蒿类-假木贼群落复合体, 潜水深8—12米; 5—盐节草群落 (由 *Halocnemum strobilaceum*組成), 潜水深至1.5米, 苦鹹的; 6—盐涸湖中的假木贼群落 (由 *Anabasis salsa*組成) 和盐节草群落 (由 *Halocnemum strobilaceum*組成) 的复合体, 潜水深1.5—3米或更深, 苦鹹的; 7—猪毛菜群聚, 潜水深0—2米, 苦鹹的; 8—含石膏的粘土上的在潜水埋藏很深的情况下 的假木贼群落 (由 *Anabasis salsa*組成)。

織水文站并且設置一系列的钻孔以研究潜水。钻孔布置在对于該区域來說是特征的, 典型的植物群落中。对水位的变动进行系統

不足道的分布的情况下。有时也采用超比例尺符号以便在图上区分出相应的指示体。在这种图上常常也应该区分出不是以自己的区系组成, 而是以具有特殊发育节律的或以降低的生活力为特征的建群种指示这种或那种水文地质現象的群落。有时应该标出不是相应植物群落的建群种的指示植物种 (видиникатор)。

編制这样的图既具有实践意义, 也具有理論意义。图 19 可以做为这样的图的例子。

定位研究

在与查明植被的发育与地方水状况之間的依赖性有关的比較深入的地植物学工作时, 以及在研究潜水不同深度和矿化度情况下整个生长季节中蒸腾的变化时进行定位研究。

在这种情况下对水对象組

的觀察，進行地表水和地下水的水化學分析以及確定土壤濕度狀況。在整個生長季節期間平行地研究群落的生物物質，物候學，蒸騰和種類組成的變化。

河流狀況的研究

河流的供水能力(водоносность)或逕流(сток)，也就是在一定時間間隔內(秒，月，年)在河流中流過的水量是河流的基本特徵之一。河流的供水能力以水的流量確定。河流供水能力的各季之間和各年之間的變化引起河流中的水位、深度、流速、比降的分布、固体顆粒的數量和組成——河流所轉移的泥沙、河床變形的方向等等的改變。所有這些現象與河流沿岸和河漫灘中的植被的發育有緊密的聯繫。

為了組織觀測選取該地代表性植被發育良好的並且對於該河流說來是典型的河岸地形表現清楚的河流地段，以便保證觀測的方便和觀測的足夠準確(水文氣象站哨規範，1944，1945)。

在所選擇的地段上，大致與河流總方向平行並且接近水邊緣設置基線。從基線沿地段的中央和它的邊界經過全部河谷劃分橫剖面。在只需要進行水位觀測的情況下沿地段中央布置一個橫剖面。經過均勻的間隔分布測量點(在不寬的河流橫剖面的深度測量根據拉繩索進行，而在寬闊的河流用平板儀或六分儀進行)。

不到5—6米的深度的測量借助於測深杆或拉杆進行，而超過5—6米以上用測深錘(圖20)。在河流和湖泊上也採用回聲測深儀(Близняк，1952)。

為了確定水位的變動在選定的河流地段設置水位站。此外，在水位站上對水和空氣的溫度、天氣(風，波浪)、降水、河流的解凍和結凍、流冰、冰蓋的厚度以及對水生植被發育的情況進行觀測。

水位站可以是簡單的、標尺的、木柱的、標尺-木柱的、水位自動儀器(自動水位計)。

在“水文氣象站哨規範”(1945)中給出進行觀測和測定水流量的技術。除了在該規範中記載的測量水位的方法以外，水位的變

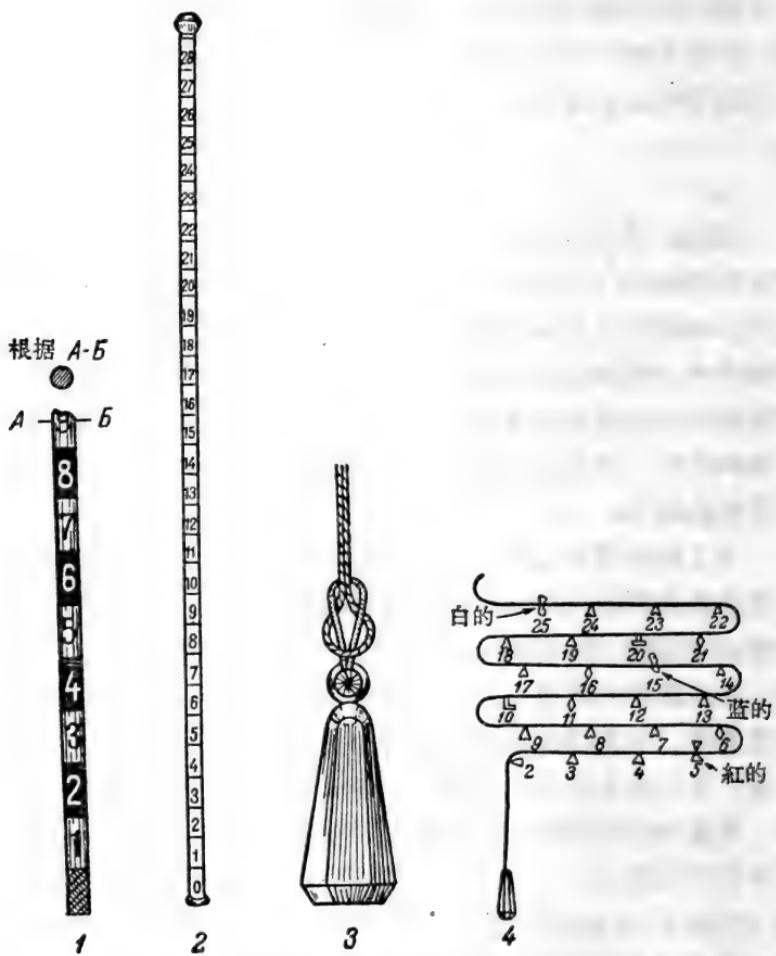


图 20 测量河流深度的仪器(据布里茲尼亞克, 1952)
 1—测深杆, 2—飘浮测深杆, 3—水投测深锤, 4—具有标上记号的细绳的测深锤。

化也可以借助于采用核子辐射记录(Данилин, 1957)。在水位变动不超过 1—1.5 米的河流, 有具窄孔的鉛箱中的 Co^{60} 放射源安装在水下的木桩上。 γ 射线以窄束形式从箱子小孔中射出, 穿过水层, 射到装置在水上的計数器上。在通过水层的时候 γ 射线减弱, 同时根据它们的减弱程度得出水位的变动。計数器联结具有指针指示器的电子电路, 指针指示器的刻度以水位高度的厘米数

标记。如果采用电流計或自动电位計以代替指針指示器，那么水位的变化不间断地被记录下来。

在水位变动很大的情况下 γ 射线源安置在浮筒上，这种浮筒在水位改变时与相对地不动的計数器的浮子一同移动(图 21)。也象在上述方法中一样，計数器与电路相联結。

对水中悬浮的和溶解的泥沙的观测与水的流量的测定同时进行。这个工作由下列操作組成：1)在测定流速的点上以水样采取器采取水样，2)从所取样品中分析出含于其中的泥沙和3)悬浮泥沙量的計算。

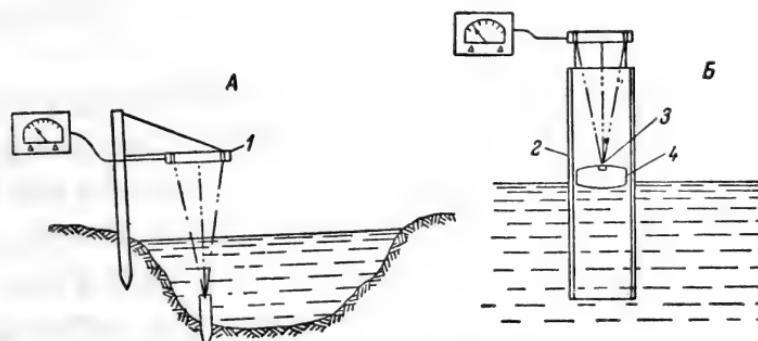


图 21 借助于 γ 射线测量水位的图式(据达尼林, 1957)
A——在测水柱上的同位素；B——在浮筒上的同位素。1——計数器，2——管子；3—— γ 射线源；4——浮筒。

茹科夫斯基水样采取器(батометр Жуковского)：瞬时装滿水样采取器和瓶式水样采取器(长时装滿水样采取器)被认为是为了計算含沙量采取水样的基本仪器。茹科夫斯基系統水样采取器(小的和大的)是为了采取2—5升容积的样品。水样采取器用杆柱或绳索放下去。在不深的和静止的河流中为計算含沙量采取水样的最简单的水样采取器是悬挂在绳子上的瓶子，绳子下部分叉；绳子的一端固定在瓶塞上，而另一端固定在瓶頸上；为了增加瓶子的重量装上负荷。当把瓶子放下到所需要的深度的时候，拉扯绳子，在这种情况下塞子就拉开同时瓶子被水所装滿；位于瓶子內的塞子小球当瓶子充满水之后从内部将瓶子关上。然后瓶子从水中

取出。

在考察条件下最方便的是波里亚科夫系統的水样采取瓶(батометр-бутиль системы Полякова)。这种仪器由固着在流綫型重物上的三升的瓶子組成。瓶子装有两个小管,其中的一个进入水,另一个排出空气。这种仪器事先加以校对,也就是确定在不同流速情况下水进入的速度(根据瓶子装滿的速度)。水样采取瓶提供在垂直綫上采取一个积分式的样品的可能性,这种样品是借助于不间断地和均匀地(以恒定的速度)从表面沉入到底部以及瓶子从底部到表面的同样的逐漸升高而采取。測定含沙量的积分式的方法大大地使材料的整理变为容易。作含沙量計算的样品是在进行水的速度分析的那些垂直綫上采取。

样品中泥沙数量,它們的机械組成,比重和容重的确定在定位实验室进行,样品中的泥沙借助于样品的沉淀或过滤而分离出来。借助于沉淀以分离泥沙的方法是最简单的方法。容积为3升的水样采取器中的样品倒入高15—18厘米和直径20—25厘米的圓形玻璃罐中。玻璃罐放置10天以便沉淀。沉淀之后把澄清的水小心地用虹吸管从罐中倒出,而沉淀物移到称瓶中。在专门的計算表中写下样品和称瓶的号碼。然后将所有称瓶放入水浴或砂浴中,以便蒸干残留在样品中的水分,再拿到恒溫器中5—6小时以便在105—110°C的溫度下烘干,烘干之后称瓶用盖盖上并放置于干燥器中,然后在精确度到0.01克的分析天秤上称重。

借助于过滤以分离泥沙的方法用于容积不大的样品,并且只有在那种情况下,如果只需要測定泥沙的总数量而不分析它們的机械組成的时候。过滤通过直径为11或13厘米的滤紙进行。滤紙装入玻璃漏斗。通过滤紙的水流入放在漏斗之下的容器,装有样品的瓶子和漏斗固定在特殊的支架上。有泥沙的滤紙烘干,編号和称重。預先已經知道的滤紙的重量从总重量中除去。

在野外条件下为了分离泥沙采用庫普林过滤器(фильтровальный прибор Куприна)极有成效。在这个仪器中过滤进行的远較迅速。

悬浮泥沙量的計算是在室內条件下用計算水流量的同样方法进行(水文气象站哨規範,1945)。

水的顏色是借助于将倒入由无色玻璃制成的特殊量筒中的水样的顏色与顏色标准比較,然后根据色度等級确定。用鉑-鈷色度标作为标准。通常只限于目測确定水的顏色,以“无色”、“淡黃”、“褐色”、“略带白色”、“乳白色”等字眼标记它。带黃色調的存在表示水流,水体的沼泽补給或污秽。

在水有味道时只指出显明表現的杂味:“鹹的”、“苦的”、“含鉄質的”、“带酸的”等等,而在沒有一定味道的情况下作“无味”記号。

气味用“沒有”、“有发霉气味”、“有腐烂气味”等等字眼注明。

为了在實驗室条件下进一步进行水的水化学分析,用一公升瓶采两个水样(一个基本的,另一个对照的)。瓶子應該用挑选过的水很好地洗过和涮好。样品用軟木塞盖好,涂以門捷列耶夫灰泥或火漆,也就是說准备发送到實驗室。

常常在野外条件下进行簡化的水化学研究,在这种情况下使用为沒有專門化学訓練的植物学家特制的野外水化学實驗箱“Спецгео”(И. Ю. 索科洛夫結構)。它由两个箱子組成一个基本的,一个是后备的,每个重3公斤。借助于放置在基本箱子中的試剂可以完成20—30个淡天然水的分析;在后备箱子中放入还有120—150个分析的試剂。實驗箱包含20个試剂,蒸餾水的貯藏以及进行分析的相应設備(标准表,滤光器,玻璃器皿等等)。

最近在野外研究中广泛地采用比色法,这种方法是根据在水样中加入具有一定标准顏色的試剂之后,比較被分析的水样的染色。标准采用液体的或有顏色标度的透明玻璃形式的。在采用这种方法的情况下水化学分析的进行大大地被簡化了。

为了測定一年中不同季节河流中水的化学組成,进行有系統的取样。取样的方法已如上述。

对于平原河流可以确定下列采样时期:1)在低水位的情况下,当由于地下水的加强流入的結果水最高度地被矿化的时候;2)

在春季高水位时;3)在夏季平水期;4)在封河届临和冬季时。

如果在河流中观察到由于流入水量的影响或冰的融化所引起的洪水,采取补充的水样。

水的化学分析在实验室根据专门的指示进行。当测定了在1立米水中化学上可溶性物质的数量(以克表示),或所谓饱和度(矿化度)并且知道水的每秒流量以后,不难算出生长时期或其它任何观测时期内溶解泥沙的每秒流量和化学逕流(химический сток)。

沼泽状况的研究

在地植物学定位研究的情况下通常组织对沼泽水位的变动,对降水和沼泽表面的蒸发的观察。后两个问题曾在Б. П. 卡罗尔(Кароль)¹⁾的著作中讨论过。

对贫养和中养沼泽地进行观测的水位点的布置按照纵横穿过沼泽的基线进行,以便使观测包括沼泽发育的主要阶段。在真(低位)沼泽(евтрофное болото)上钻孔可以沿2—3个平行剖面布置,以便测定水流的方向。基线和横断面的起点和终点用水准标固定。

沼泽水位的观测点可以是下列类型:1)具有零点标尺的水位钻孔,2)具有浮标装置的水位钻孔;3)配备有水位自计器的水位钻孔。

在考察条件下极其通用的是第一类型的水位设施,其余类型的设施主要用于定位条件下。从零点标尺计算的钻孔装置按下列方式进行。在预定的地点借助于罗赞诺夫钻(бур Розанова)或盘形钻打深1.25米的洞,在其中放下断面为16×16厘米的管子打眼部分。在不坚实的泥炭层的情况下打眼管子可以打入土质安装,为此管子的下部配备有尖的装置。打眼管子这样安装,使它的上端露出沼泽表面10—15厘米。

1) 参阅本卷115页。

在钻孔旁边距离它 1.5 米的地方，在泥炭层中打两个长 2.0—2.5 米和直径 14—15 厘米的木桩¹⁾。木桩的上端必须高于沼泽表面 80—90 厘米。在这些木桩上在沼泽表面以上 75—80 厘米高度的地方将断面为 7×7 厘米的标尺固定；标尺的上缘作为零点，从这里进行计算，标尺的水平性根据水准仪检查。所有的钻孔和水平标尺应该用水准测量联接起来。对钻孔的观测借助于木制手提水位标尺进行。标尺放下钻孔直到它接触水面为止。读数取水平零点标尺的上限水平，如果观测是在冬季进行，那么在每一次观测之后钻孔用小木板盖起来并且铺上雪，以便使钻孔中的水不至于结冻，在钻孔中水结冻的情况下冰不厚时用破冰杆打碎它并且以捞网舀出，经过 5 分钟做水位的读数。

沼泽水位的观测按地方时间进行，一昼夜一次，在早晨进行，而在冬季 5 天一次（每月 5、10、15、20、25 日和每月最后一天）。

野外记录簿中记录的整理归结于，从对于每一个该钻孔获得的值中减去根据标尺做出的水位读数。借助于这种方式获得的，说明相对地从沼泽表面零点算起的水位埋藏特点的数值转移到水位的年变化表（годовая таблица уровней）中。

除了沼泽以外这样的方法也用以研究沼泽化的土地（泥炭的或没有泥炭的）：沼泽化的森林，灌丛，草甸和牧场，沼泽化的冻原，河滩，海滨盐土，经常为潜水所湿润的地面等等属于这样的土地。

潜水状况的研究

在不同植被类型下潜水状况——它们的水位和矿化度在时间上（在植物的生长季节，日历年和各年期间）的变动——对于许多地植物学问题的解决是极其重要的。上面已经指出，为了使水文地质学研究和地植物学研究密切结合，观测点必须设置在一个地点。

1) 由于泥炭的弹性木桩很容易以旋转方式打入泥炭中，为此在这种或那种高度上借助于钉子或绳索将横木固着在木桩上，一个人坐在这个横木上，而其他两个人转动木桩，采用这种方式在耗费非常小的力量的情况下木桩很快地沉入泥炭所需要的深度。

潛水狀況的基本要素是：1)它們的水位變動，2)流向，3)流速，4)流量，5)物理特性(水溫，它的顏色和透明度)，6)化學組成。

對潛水位的觀測時間在很大程度上決定於研究的目的。在生長時期研究蒸騰的情況下觀測在日間每小時地進行，而在所有一年中的其餘時間一昼夜一次(在13時)。在研究低洼地潛水流入流量的情況下通常一昼夜進行一次觀測或3—5天一次觀測。在所有情況下應該在全部鑽孔同時進行觀測(在同一小時，同一天)。平行地測量鑽孔中的水溫。

潛水水位變動的確定是在觀測的水井和鑽孔中進行。為了避免弄脏，鑽孔裝置直徑不小于50毫米，具網或不具網的有孔濾器。網孔大小的選擇依岩石的顆粒組成而定。

觀測鑽孔的管子應該突出地表以上不超過1米，它以蓋子蓋住。鑽孔的高度位置(管子的頂部)以水準標固定起來。水位從任何固定的點，例如從套管的邊，井欄的邊起算。

深度不超過4米的水井中的水位測量採用手提水標尺，在深度不超過10米的水井和鑽井中廣泛地採用固定在有標記的絞索上的“鳴筒”。它由一段管子製成，上端蓋以木塞；在與水接觸的時候發生水拍濺聲。為了測定深20—30米的鑽孔中的水位採用哨子；在它衝擊水面時聽到唿哨聲。

除了上述最簡單的儀器以外，為了測量地下水位採用帶哨子的塔盤測量器，西蒙諾夫系統的盤形的和光標的水位計(дисковый и световой уровнемеры системы Симонова)、電水位計、自計測量器。目前，上述所有水位計之中在考察條件下最常採用的是西蒙諾夫系統的光標水位計。儀器的信號部分由管子、上蓋和干電池組成。儀器在標上號碼的小纜索上放下去。當儀器達到水的時候放在下蓋中的賽璐珞滾珠浮起到水面並且使鎖鏈接連起來，由於這個原因點燃了電燈泡。

潛水流向可以根據位於其邊不小于100米的等邊三角形角頂的三個鑽孔中的水位標高確定，鑽孔深入含水層2—3米。然後借助於水準測量精確地測定含水層的水位。為此在每一個鑽孔打下

木桩到基质水平。对木桩进行精确水准测量，并且从木桩测量水位。根据被观测的钻孔中的地下水位标高编制地段的平面图(план участка)，在其上繪制地下水等高綫(图22)。从具有較大标高的地下水等高綫到具有較小标高的地下水等高綫所作的垂綫将指示出水流的方向。

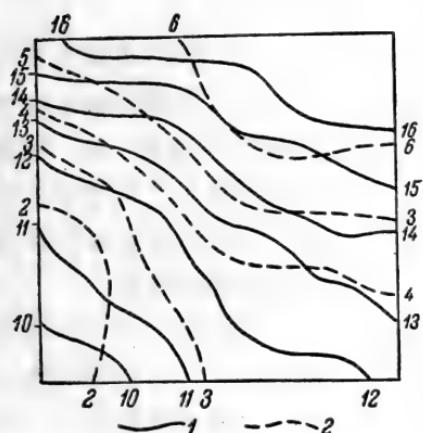


图 22 具有地下水等高綫(2)和地面等高綫(1)的指标的平面图(据布里茲尼亞克, 1952)

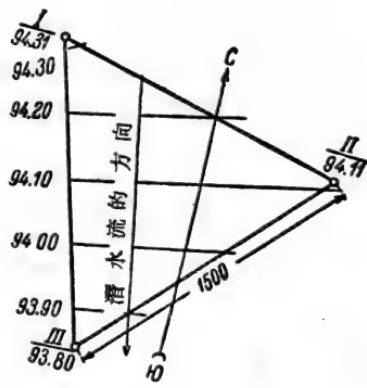


图 23 为了确定潜水运动的方向的钻孔(I—III)分布图式(据克里緬托夫, 1955)

为了测定潜水的流速按照地下水流动的方向設置两个坑道——起动的和观测的(探井, 钻孔)。坑道之間的距离依岩石的性质而定; 在粘质岩石中它等于0.5—1.5米, 在細粒砂中——2—5米, 在粗粒砂中——5—15米, 在裂隙岩中——10—50米。为了使水流速度的测定有較大的可靠性, 常常設置三个观测坑道(图23)。在第一个钻孔中放下指示剂(食盐溶液或染料), 記录放下的时间, 然后記录指示剂在被觀察的钻孔中出現的时间。为了发现食盐和染料, 采用化学的, 电测的和比色的方法。在采用化学方法的情况下氯化物很易滴定 AgNO_3 。

在采用比色法的情况下地下水运动速度的测定采用賦予水以顏色的不同染料。对于酸性的水采用亚甲基蓝、苯胺天蓝、緋紅

2 R；对于碱性水——萤光黄、曙红、藻红、绯红和萤光橙；对于中性水——所有上述染料。最常采用的是萤光黄。染料溶液倒入起动钻孔。染料在被观测的钻孔中出现的时间借助于取样和将它们与萤光镜标准相比较确定。

最好估计染色的强度，从上往下察看灌满在玻璃微管中的水样。知道钻孔之间的距离以及染料在检查用的钻孔中出现的时间以后，计算出地下水流动的速度。

在电测法的情况下钻孔分布的图式与上述一样。电路由放入观测钻孔中的金属棒——以橡皮或木制筒管与管子隔绝的电极组成。它的上端装上联接电池和安培计的绝缘了的导线；另一导线

联接起动钻孔的套管的上端。电的接线按绘在图 24 上的线路图进行。

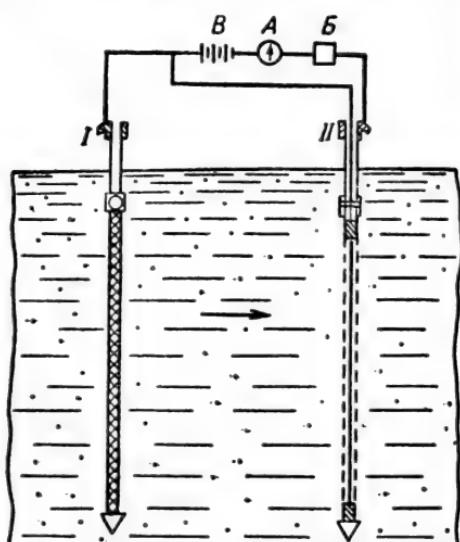


图 24 在电测法确定地下水水流速的情况下
仪器装置的图式

I——起动钻孔，II——观测钻孔，A——安培计，B——变阻器，B——电池。

氯化铵(NH_4Cl)或食盐(NaCl)¹⁾可以作为指示剂。把这些物质中之一以溶液形式或干燥形式放进起动钻孔。通常一次放入达 1 公斤的物质，同时每 10—15 分钟重复增加材料，直到全部加入含水层 4—6 公斤物质为止。在进行试验的时候建议只在根据毫安培计标度进行读数的时候接通电网，以免供给电流的电池迅速放电。

放入溶液之后开始时的计算在砂土中每隔 1—2 小时进行读数，在壤土和粘土中每隔 2—5 小时，甚至隔若干天进行读数。

1) 原书作 HCl ，恐系排版错误——译者注。

此后当溶液达到检验钻孔的时候，砂土中的观测每隔30—40分钟进行，而在壤土每隔1—2小时进行。潜水的流速按下列公式确定：

$$U = \frac{L}{T},$$

式中 U ——水移动的速度； L ——钻孔之间的距离； T ——指示剂移动的时间。通常，指示剂通过的时间在电流最大的点求得，这个电流最大的点也相当于观测钻孔中潜水浓度的最高点。

潜水渗透系数 (коэффициент фильтрации грунтовых вод) 的测定。渗透系数说明水通过土壤和岩石的渗透速度的特征并且以属于时间单位的线性单位 (米/昼夜, 米/小时, 厘米/秒) 表示。它被规定为在过滤断面面积上单位时间中滤过的水流量的比率。渗透系数的测定根据经验公式，以及实验室的和野外的方法进行。野外方法之中最可靠的是抽水，这种方法是根据从中央钻井中抽水和根据对中央的和观测的坑道(钻孔, 探井)中的水位的观测。抽水借助于泵进行。这个方法非常耗费劳力，它只在专门水文勘查的情况下被采用。

测定渗透系数的精确度较小的，但比较简单的方法是灌注法 (способ налива)；这些方法之中流行最广的是波尔迪列夫法 (способ Болдыревя) (Близняк, 1952)，这种方法归结如下。在断面不小于 1×1.5 米的探井底部做出直径0.5米和深0.15—0.20米的加深部分 (聚水坑)，在加深部分的壁的砂上以木制的或金属的环固定起来。为了在试验时对水位变动进行观测把具有厘米分划的标尺固定在加深部分的壁上，标尺的零点必须与底部符合。底部弄平并且撒上一层厚至2厘米的砾石，为了供给水安置具有量水玻璃的箱或桶，在玻璃上刻上相当于箱或桶中的水的一定容积的分划。水沿橡皮管从箱子流入坑中。橡皮管插入离开箱子的金属管子中。橡皮管装备有夹子。打开夹子时，水就逐渐充满加深部分到10厘米的高度。借助于从箱子供给水支持这个水位；这时记录下被灌注的水的容积以及灌注之间的时间间隔。为了防止加

深部分的底部被冲刷，橡皮管的尖端放置于装滿砾石的小袋中。当还没有形成或多或少恒定的水渗透流量以前，試驗持續 10 小时或更多。

渗透系数根据下列公式計算，

$$K = \frac{Q}{F},$$

式中 K ——以米/昼夜表示的渗透系数； Q ——以立方米/昼夜表示的稳定的水流量； F ——以平方米 表示 的加深部分浸湿表面的面积。

潜水的物理特性和化学組成的研究基本上按研究地表水的那些方法进行。为了測量水的溫度采用具有放置在硬橡皮框子里的被絕緣了的水銀貯器的“惰性”溫度計。也可以采用电溫度計。

关于潜水水位和溫度的資料記錄在觀測記錄本上。

在定期研究的情况下进行周期性的水样采取以作化学分析。根据 Ф. П. 薩瓦連斯基(1935)的意見，水样應該在潜水最高和最低水位期間，在引起潜水升高或它們的淡化的洪水和降水情况下采取。

在森林下和在觀察到矿质盐类的生物积累过程的地方，在生长期間水样采取不少于一个月一次，而在水文气象条件显著改变的情况下还要更多。在采样之前應該进行抽水以便使钻孔中水清新。

在特殊装备的钻孔上周期性地进行地下水流速和它們的流出量的測定。

蒸騰上的水分損失(потери влаги на транспирацию)，正如 Дж. 基德列希(Китредж, 1951) 所指出，可以根据潜水水位的变化計算。类似的計算可以在如果根系达到潜水位的那种情况下进行。对潜水的觀測必須在一昼夜間每隔 1—2 小時間隔进行。根据这些資料繪制潜水水位实际变动的曲綫，同时在这个图上也繪出計算出的潜水流补給速度的曲綫(图25)。潜水补給速度的計算

按下列方式进行。大家知道，从早晨 2 时至 4 时蒸腾极其微小，因之这时的水位变动曲綫應該完全代表潛水補給的數量 (r)¹⁾。如果沒有由於蒸腾的損失，那麼潛水变动的曲綫在 24 小時期間逐漸向上升

高，也就是 $24r$ 值代表一昼夜期間潛水流的總補給。潛水水位变动的計算出的資料和實際資料之間的差數 S 將說明由於蒸腾所附加的變化的特徵（圖 25）。它將是 $24r - S$ 。潛水水位中的變動藉助於乘以土壤的比較排水 T （為了補償蒸發損失所需要的水層高度）換算。結果公式的形式是

$$Tp = T \frac{24r \pm S}{100},$$

式中 Tp ——一昼夜的蒸腾； r ——1 小時的潛水補給數量； S ——計算出的和觀測到的潛水水位之間的差數； T ——土壤的比較排水量，它被規定為從土壤中消耗的水層高度對土壤厚度的比率；這個比率以百分數表示。

在所描述的方法中通常假定排水的速度在 24 小時期間不改變。實際上速度按照潛水位由於蒸腾而降低的程度增加，並且在午后，當潛水水位具有最小值時成為最大；相反，在潛水水位的最高值的情況下排水速度最小。

第二種方法近似地計算潛水補給速度的改變。採用這種方法

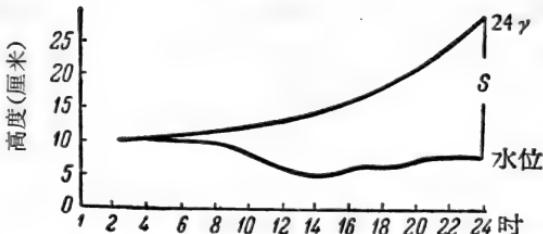


图 25 潜水水位的变动和潜水流补給的速度的互相吻合曲綫圖（据基德列希，1951）

$24r$ ——在一昼夜期間潛水流的補給； S ——潛水水位變動的計算出的數據和實際數據之間的差數。

1) Д.Ж. 基德列希(1951)在証實從半夜到早晨 4 时蒸腾最小时，引述了若干資料。在俄亥俄 11 例兩年生郁金香樹的蒸腾損失是 0.4 克，或一昼夜總蒸腾的 1.6%，而針葉樹——2—4%。因此，象這樣的損失可以忽略。

时潜水水位每小时的变化按高于(盈余)和低于(亏损)相当于零点变化的水平綫的时间繪在图上；这样就获得柱式图解。在蒸騰量接近零的钟点，柱式图解的变化說明潜水补給速度的特征。可以画出說明在研究期間潜水补給速度的曲綫。隨后蒸騰損失的計算按上面描述过的方法进行。

土壤水分状况的研究

为了了解植被的水分状况必須研究土壤的水分状况。重要的是确定浸湿作用的类型，土壤表层湿度与潜水状况、毛管层以及它的厚度的联系。在所有的土壤水分状况研究时极其必須平行地研究根系和植物地上部分的形态和物质量。同时必须确定土壤的类型、它的各个层次的机械組成、透水性、容重、孔隙度、滲透和持水特性、最小和田間持水量、萎蔫湿度、田間湿度、最大吸湿量、活動湿度的范围。所有这些在被研究的植物群落下的土壤的測定應該与对植被的觀測：区系組成，生物物质量的物候学(фенология биомассы)，蒸騰等等的变化——在生长期間平行地进行。

土壤类型在野外确定，为此进行土壤剖面的記載并且采取土样以便分析它的机械組成和化学組成。土壤湿度的測定在整个生长期間定期地进行；通常它根据重量法进行。也有測定土壤湿度的比較現代的方法：电測法(Черняк, 1955)和放射法(Данилин, 1957)，然而，它們需要十分复杂的專門設備。

重量法(весовой метод)归結于，以手操土钻每隔 10 厘米(在上层最好每隔 5 厘米)采取土样，直到不同的深度。在潜水埋藏不深(到 5—8 米)的地方，样品的采取最好按直到潜水为止的联續柱状剖面进行。在具有滲出状况的土壤的情况下通常也这样处理。如果潜水埋藏很深(10 米以下)的話，那么样品應該采到未浸湿——“死”——层。死层見于具有非淋洗土壤状况的土壤上。上面已經指出，采样的时期應該与对植被的觀測时期相符合。样品采取必須不少于三次重复，而对于表层——不少于五次重复。

为了这个目的有鋁制的小杯(称瓶)，在出发到野外之前，在实

驗室条件中,将这种鋁杯放在烘箱中干燥,干燥之后称重。空称瓶的号碼和重量登記在專門的記錄簿或练习本上。在野外利用土钻从不同的发生层次中取出土样。放 20—30 克取出的土壤于称瓶中,迅速用盖把它盖上。同一个深度的样品采三次重复。在野外實驗室中将装有土壤的称瓶称重,打开,以打开的形式与盖子一起放入烘箱中,在 105°C 情况下干燥 6 小时。經過 6 小时之后取出称瓶,盖上盖子并放置于干燥器中。当称瓶冷却之后,重新将它們称重。湿度的計算以干燥土壤的百分数进行。

計算的例子。空称瓶的重量——8.54 克,装有土壤的称瓶在干燥之前重量——30.74 克,装有土壤的称瓶在干燥之后的重量——28.20 克。因而,蒸发掉的水分重量是 $30.74 - 28.20 = 2.54$ 克,干燥土壤的重量等于 $28.20 - 8.54 = 19.66$ 克。土壤中水分含量等于 $\frac{2.54 \times 100}{19.66} = 12.9\%$ 。

测定土壤湿度的 П. В. 伊万諾夫(1953)方法也属于重量法的一类,这种方法按下列方式进行,将 3—5 克的土壤秤量放置于称重鋁盒中。然后借助于吸量管或滴管将土壤秤量以純酒精蘸湿直到在小杯中出現自由的液体,为了这个目的需要約 4 毫升的酒精。将小杯的底部在桌上稍微敲打几下,使小杯中的土壤以均匀的一层分布,同时过 1—2 分钟点燃酒精。放置 3—4 分钟,当火焰熄灭之后,再以酒精蘸湿土壤,直到它的表面均匀地变黑(1.5—2 毫升酒精),同时馬上再点燃酒精。也照这样的方式进行第三次的烧透,这以后小杯以盖盖上并且在溫暖状态下称重。样品全部干燥耗費 20 分钟,在一个样品上的酒精消耗是 7.5—8.0 毫升。土壤中水分含量也象在上述方法情况下一样計算¹⁾。

土质自然湿度研究的电測法(электрический метод)是 Г. Я. 捷尔尼亞克(Черняк, 1955²⁾)所建議的。在这个方法中采用探测器形式的野外測量电容器(полевой измерительный конденсатор),这种电容器使我們有可能实际上在距地表任何需要的深度

1) 这个方法不适用于确定含有机残体丰富的土壤的湿度。

2) Г. Я. 捷尔尼亞克以电測法测定砂质土质的湿度。

在自然埋藏的土质中进行测量。該电容器的电极的作用由两个同样直径的,相互安置在一个軸的末端,一个距另一个若干距离的金属圆柱体担任。电容器的場不局限在探测器本身中,而包括环绕它的或多或少較大的空間。

在最近为了对土质水分状况进行定位研究也采用另外的,两齿叉头形式的比較简单的探测器結構,这种探测器結構的金属刃齿(电极)固着于塑料的基座上。为了連接探测器与测量仪器——介电仪(диэлькометр)(“Водгео”)采用同心電視纜,研究方法的一般特点归結如下。探测器(电极)装置于土质中(在直径为75—100毫米的钻孔底中),同时在地表面只留下在尖端具有塞孔的一短段电纜以便連接介电仪,探测器在整个观测时期留在土质中。紧接装置探测器之前从钻孔底采取重15—30克的二至三个土质样品装入称瓶中,以便按通常方法(干燥到恒重)测定岩石的初始重量湿度 We^1 。

对湿度时间变化的观测是借助于定期测量土质中的探测器电容量和介质損耗(沒有探测器凹槽)而实现。根据获得的資料計算出在自然埋藏条件下的土质的介质渗透性 Ee 。知道了后者,求得在测定那一瞬间的重量湿度 We 。在这种情况下計算按 Г. Я. 捷尔尼亞克的經驗公式 $We = Ee - 1.7 + a(\lg Ee - 0.23)$ 进行,这里 a ——恒定系数,其值是借助于代換公式中的 We^1 值以及由于探测器电容量第一次测定的結果而获得的相应于它的 Ee^1 值从該公式中确定。

确定土壤湿度的最現代的放射法(радиоактивный метод)是借助于 A. И. 达尼林(1957)設計的仪器进行。这种仪器使我們有可能直接在野外在定位条件下不破坏土壤构造测量土壤湿度。它是根据利用放射性輻射的原理。在土壤中在一定深度安置同位素 Co^{60} 。 γ -射線通过土壤并且被核粒子計數器登記下来。把通过同一个土壤层时这些射線的減弱作为恒定值。該层中湿度的最小的变化引起 γ -射線强度的改变。

土壤含水越多,能量子的吸收也越多,相反,湿度越低,吸收也

越少。测定 γ -射线强度的仪器是具有M3C-54或CTC-6型的电计数器的携带动换算装置。

为了测量必须知道借助于土样的恒温器干燥而确定的该土壤层中的初始湿度。把这个湿度作为发端的(基点的)，在以后测量只借助于 γ -射线进行。这时可以采用两种方法——垂直的和水

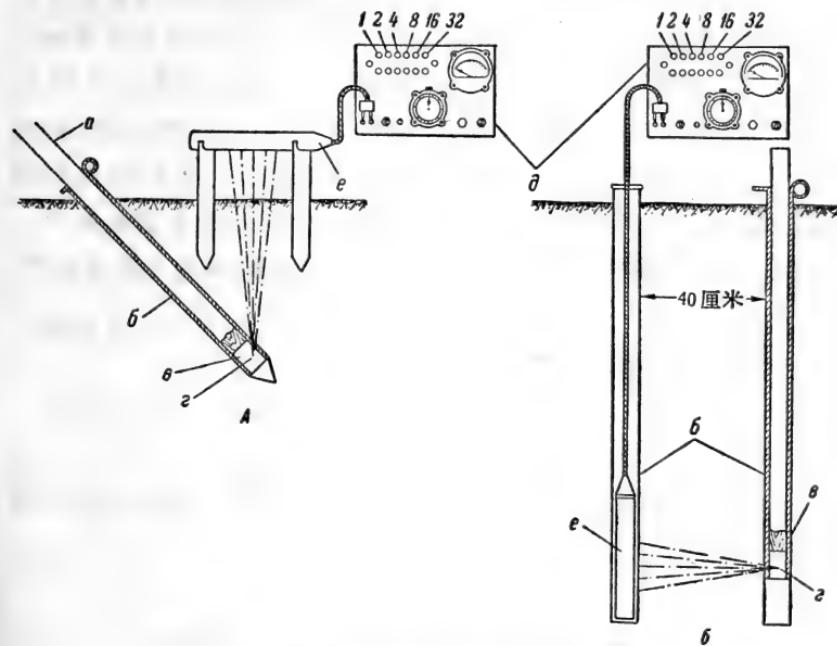


图 26 利用 γ -射线方法测量土壤湿度的图式

(据达尼林, 1957)

A——垂直方式；B——水平方式。a——有同位素的棒；6——聚氯乙烯胶管；b——铝箱；2——同位素 Co^{60} ；d——换算仪器；e—— γ -量子计数器。

平的。以这种或那种方法测量的图式见图26。在借助于垂直 γ -射线束以测量湿度时将金属管以一定角度钉入土壤，金属管的下端具有钢制的头。在测量时将具有铝头的木杖放入管子中直到挡板为止，铝头中放置有同位素 Co^{60} 。在铝头中具有为了使 γ -射线射出的小孔。在土壤上面的架上安置与计算脉冲速度的换算仪器或指针测量器连接的计数器。这样的测量方法使我们有可能测定

直到 50 厘米深度的土壤水分含量。

第二种测量方法——根据水平 γ -射线束减弱的程度——正如 A. I. 达尼林所指出, 提供测定直到 1.5—2.0 米或更深的任何层次的土壤湿度的可能。为了这个目的在土壤中彼此相距 40—50 厘米垂直地装置两个由聚氯乙烯胶或其它物质制成的管子。在安装这些管子的时候从 10、20、30、40、100 厘米等等深度采取对照样品, 以便按干燥法确定湿度 W 。这里在打算进行土壤湿度系统测量的所有层次中进行 γ -辐射强度的测量。为此在测量的瞬间在一个管子中在木棒上放下同位素 Co^{60} , 而在另一个管子中在同样深度放下 γ -量子计数器。知道了通过这些层的 γ -射线的初始强度 $J_1^0, J_2^0, J_3^0, \dots, J_n^0$ 和测量开始瞬间的所有层次的土壤湿度 $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$, 就可以根据下列公式确定任何瞬间的土壤湿度 W ,

$$W = W_1 \pm \Delta W_1,$$

式中 ΔW_1 ——湿度的改变。它本身

$$\Delta W_1 = \frac{\ln J_1^0 - \ln J}{\mu_p},$$

这里 J ——在任何其它测量瞬间的 γ -射线的强度; μ_p —— γ -射线减弱的系数, 其值已给出。

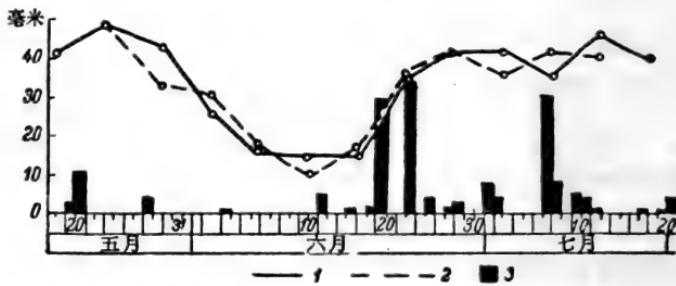


图 27 瓦尔戴地方 20-厘米土壤层中湿度的季节进程
1——恒温干燥器测量的平均水分贮藏; 2——借助于 γ -射线测量的平均水分贮藏; 3——降水(毫米)。

让我们引述按照 A. I. 达尼林(1957:38)的湿度计算的例子。假定, 在安装管子的瞬间 50 厘米深度的土壤湿度是 20% 同

时仪器在这个深度在 2 分钟內數計出 18,000 脉冲。十天之后如果仪器在这个同一深度在 2 分钟內數計出 16,200 脉冲的話,土壤的湿度将是多少?

假定 50 厘米深处的土壤容重等于 1.5。而在管子之間的土壤层的厚度是 40 厘米的情况下土壤湿度 1% 的变化相当于 6 毫米水层,土壤中水层的变化将等于

$$\Delta W_1 = \frac{\ln J_1^0 - \ln J}{\mu_p}.$$

以 $J_1^0 = 18000$, $J = 16200$, 而 $\mu_p = 0.063$ 代入, 获得

$$\Delta W_1 = \frac{\ln 18000 - \ln 16200}{0.063} = 16 \text{ 毫米}.$$

以 6 除这个数目, 获得湿度的增加率 2.7%。于是, 50 厘米深处的土壤湿度将是

$$20 + 2.7 = 22.7\%.$$

試驗証明, 土壤的放射測定, 比起土样的干燥來, 提供比較可靠的結果(图 27)。

土壤的孔隙度和最大持水量根据土壤的比重和容重算出 (Роде, 1955a)。

土壤的透水性(водопроницаемость)很容易在野外測定。为了这个目的在土壤中到 6—7 厘米深度为止嵌入木制的或金属的面积为 50×50 厘米的正方形模子。模子的全部四个壁的下部做成楔形;如果模子是木制的,那么以鐵皮将其鑲边。正方形这么安装,使它的壁和土壤之間沒有裂縫。为了防止側向漫流通常采用两个模子,其中一个是外面的(50×50 厘米),另一个——里面的(25×25 厘米)(图 28)。

在两个正方形模子中灌水到 5 厘米深。經常保持这个水位。水消耗和渗透时间的讀数只根据里面的模子确定,水从这个模子几乎垂直向下地下滲,而从外面的正方形它将向侧面漫流。水从两个桶子供应,其中一个配备有量水表。知道了水的消耗和渗透时间以后,計算出单位时间,例如 1 分钟內以毫米水柱表示的土壤

透水性。由于土壤的透水性随时間改变（通常随时间减小），所以对它的观测在6—8小时期间内进行。

我们认为，根据最大吸湿量可以算出萎蔫系数（Федоровский，1948，1954；

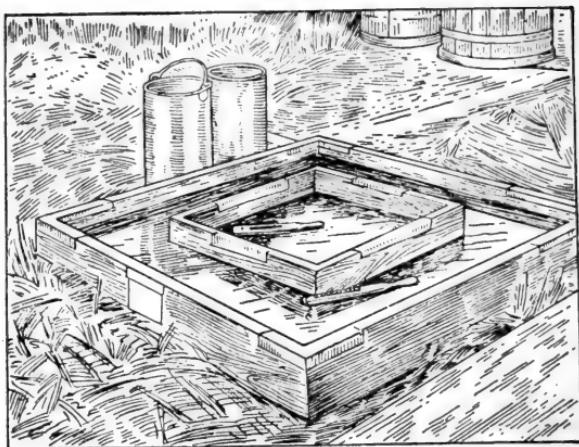


图 28 利用小灌水面积法在野外测定土壤的透水性

Францессон, 1951)。

确定水分贮藏(запас влаги)十分重要。通常水分贮藏以每公顷立方米或毫米水柱表示。按照 A. A. 罗德(1955a)，水分贮藏的计算依下列方法进行。假定 K 是我們希望作计算的，以土壤干重百分数表示的常数，而 M ——对其确定 K 值的以厘米表示的土层厚度。想象基部为 1 平方分米和高度为 M 厘米的土壤稜柱，显而易见，它的体积将等于 $100 \times M$ 立方厘米，而在这个体积中的土壤干重是 $100 \times M \times OB$ ，这里 OB ——土壤的容重。如果常数等于土壤干重的 $K\%$ ，那么在土壤湿度等于 K 的情况下，在稜柱中将含有：

$$\frac{100 \times M \times OB \times K}{100} = M \times OB \times K \text{ 克(或厘米}^3\text{)水。}$$

在稜柱的基部面积假定等于 100 平方厘米的情况下这水占据的水层厚是

$$\frac{M \times OB \times K}{100} \text{ 厘米, 或 } \frac{M \times OB \times K \times 10}{100} = \frac{M \times OB \times K}{10} \text{ 毫米。}$$

代入相应的值可以计算出在最小持水量情况下，在凋萎湿度情况下，在自然湿度情况下的水分贮藏。

在总计每一层的值之后获得任何厚度土质层的值。以毫米数

表示的值可以换算成每公頃立方米数。这是借助于把所获得的数字乘以 10 求得，因为在 1 公頃上 1 毫米厚的水层相当于 10 立方米。

根据总水分貯藏还不能判断关于植物的水分保証，为此必須知道有效水分的范围，这种有效水分处于萎蔫湿度值和田間持水量值之間。知道了田間湿度貯藏和最小持水量情况下的水分貯藏，就能够計算出水分沒有达到土壤能够保持的最大数值是多少。这些資料可以作为为了計算出在灌溉情况下需要引入多少数量的水的根据。还應該估計到，对于砂和对于粘土或壤土同一田間湿度的值意味着不一样的植物有效水分保証，因为在不同机械組成的土壤上萎蔫系数是不同的。因此根据田間水分貯藏的一个数字不能判断关于植物的湿度保証。必須对于每一种情况从土壤中水分总数量計算出相当于对该土壤來說是一定的萎蔫系数的水分数量。差数将是对于植物的有效水分。

地方水分平衡的确定

水分循环对于气候和水文条件，植物的生活等等具有非常重要的和多方面的意义。到达地方地段上的降水，它們形成的河水逕流和地下水，土壤的水分蒸发以及植物的水分蒸騰乃是水分循环过程的相互联系的环节。在这些环节之間存在一定的关系，这种关系可以以水分平衡的方程式表示。在这个方程式的收入部分列入大气降水和凝結水，而在支出部分——逕流，广义的蒸发（从土壤和水体的蒸发以及植物的蒸騰）和土壤-土质中水分的积累或消耗数量。

陆地地段的总水分平衡的方程式具有下列形式：

$$Oc + K + \sum \Pi p = \Pi o\vartheta.c + \Pi.c + Hn + T \pm \Delta H \pm \Delta v$$

式中 Oc ——大气降水； K ——凝結， Πp ——經過地面范围的地表和地下流入量； $\Pi o\vartheta.c$ ——地表逕流； $\Pi.c$ ——地下逕流； Hn ——土壤蒸发； T ——蒸騰， $\pm \Delta H$ ——轉移的地下水分貯藏（积累或消耗）； $\pm \Delta v$ ——轉移的地上水分貯藏。在如果范围是閉合的情况

下,那么 $\sum \Pi p = 0$ 。

当然,如果已知土壤中的不同种的水分收入和支出,那么可以編制土壤的水分平衡(водный баланс почвы)。水分平衡可以为任何时期編制,但是最常采用年水分平衡,按照A. A. 罗德(1955a),这种年水分平衡以下列方程式表示:

$$Oc + \Gamma p \Pi = \Delta + Icsn + \Pi C + B\Pi C + \Gamma p C,$$

这里 Oc ——整个期間降水的总数; $\Gamma p \Pi$ ——从潜水中到达土壤的水分数量(在整个期間內的潛水補給,潛水流入量), Δ ——在整个期間內(植物——譯注)吸收的数量; $Icsn$ ——在整个期間內物理蒸发的数量; ΠC ——在整个期間內地表逕流的数量; $B\Pi C$ ——在整个期間內土內逕流的数量; $\Gamma p C$ ——在整个期間內潛水逕流的数量。

列入方程式中的全部数值通常以水层的毫米厚度表示,也就是象对于降水所采用的那样。

在这个方程式中沒有考慮到在研究期間开始和末尾土壤层中水分凝結和貯藏的数量。原因是凝結水分的数量通常极小,把它看作零。至于在研究期間开始和末尾土壤层中的水分貯藏,那么对于平均年它們應該是相等的,如果不发生土壤的日漸干涸或日漸沼澤化的話。

实际上,当涉及的不是平均,而是具体年的时候,那么在每一年的末尾土壤中水分貯藏与年初相比較可能稍微减少或增多。因此对于各个具体年來說土壤水分平衡的方程式成为这样形式:

$$Oc + \Gamma p \Pi = \Delta + Icsn + \Pi C + B\Pi C + \Gamma p C \pm \vartheta,$$

式中 ϑ ——土壤中水分貯藏的正的或負的变化。

A. A. 罗德(1955a)引証了复层云杉林下发育在輕质复盖壤土上的中灰化土水分平衡的計算資料(表 7)。在 1939 年等于 10 毫米的不足,和在 1940 年等于 157 毫米的过剩乃是土壤中水分貯藏的变化。

按照水分平衡的公式也可以根据下列方程式計算出蒸騰的数量

$$Tp = B_0 - B_1 + Oc - Hcn - Om - Cm,$$

式中 Tp ——蒸騰； B_0 ——以毫米表示的觀測期¹⁾ 开始时土壤中的水分貯藏； B_1 ——以毫米表示的觀測期末尾的水分貯藏²⁾； Oc ——降水； Hcn ——土壤蒸發； Om ——潛水流出量； Cm ——地表逕流。

表 7 发育在輕質壤土上的中灰化土 0—85 厘米层的
大約水分平衡(毫米)

(据 I.C. 华西里耶夫, 1950)

	1939 年	1940 年
收 入		
降水 (扣除了被树冠阻留的)*.....	320	581
从潛水的流入量.....	45	32
总 計	365	613
支 出		
乔木林冠的吸收.....	197	184
地面植被的蒸發和吸收.....	71	74
地表逕流.....	5	6
土壤逕流.....	17	107
潛水逕流.....	85	85
总 計	375	456
不足或过剩.....	-10	+157

* 降水总量在 1939 年是 438 毫米, 而在 1940 年是 730 毫米。

根据这个公式可以計算出总蒸發(蒸騰+土壤蒸發)

$$Tp + Hcn = B_0 - B_1 + Oc - Om - Cm,$$

而知道了水分的收入, 逕流和总蒸發时, 可以計算土壤-土質中的水分蓄积以及其它。

利用水分平衡方程式, 进行被研究地域上水分消耗的估計。在不利的水分分配情况下設計改变它的途径, 因为水分平衡的各个組成部分可以在人类經濟活动影响下改变。这些措施基本上是

1) 通常在早春, 在植物生长的开始, 其时土壤湿润到最小持水量, 同时蒸騰刚刚开始。

2) 生长期結束——晚秋。

按照减少地表逕流和增加地表水的排泄以及增加蒸騰的方向进行。

在湿度不足的地帶基本的任务是改变土壤的水分平衡和它的水文气象状况。其目的是保持土壤中的水分貯藏和减低非生产性的蒸发,以便保証农作物,草甸和牧場的高产量。这是借助于农业技术措施:精細培育的土地耕作法,造林等等达到。这些措施提高土壤的湿度和减低地表逕流。相反,在湿度过剩,特別在分布有沼泽和沼泽化地段的区域,借助于建立排水网增大地表逕流。在南方沼泽化的地区水分消耗的增加可以在排水之外借助于栽植适当的树种(桉树)达到,这些树种显著地提高蒸騰(參看表1)。

总蒸发的测定也是在蒸发皿中进行。

对土壤表面蒸发和蒸騰的水分損失的觀測目前最常借助于重量蒸发皿(весовой испаритель)进行(Попова, ГГИ 等)。在蒸发皿中放置不大的土壤整段标本,在測量的瞬间将这种标本称重。在这样的蒸发皿中植被很快地死亡;除此以外,在不大的整段标本中蒸发条件显著不同于土壤自然表面的蒸发。最完善的是国立水文研究所制造的具有专门水力称重系統的大的土壤蒸发器。但是建造这样的蒸发器需要耗費很多資金。

总蒸发的損失也可以借助于采用核子輻射測定(达尼林,1957)。这个方法是最有前途的。它使我們有可能不必称重放置于蒸发皿中的土壤整段标本而測量土壤表面的水分蒸发数量。在这种情况下,正如 A. И. 达尼林(1957)所指出,土壤整段标本的体积可以达到1立方米或更大。在这样的蒸发器中的土壤表面的蒸发将接近于土壤自然表面的蒸发。为了測量蒸发采用同位素铯 Cs^{137} 。 Cs^{137} 的半衰期——33年,而被它放射的 γ -射綫的能等于0.6МГэВ。这种能的 γ -射綫被水減弱的质量系数(массовый коэффицент) μ_p 等于0.0894。在蒸发器外盒的底部在具有狭窄小孔以便 γ -射綫射出的鋁箱中这样放置同位素铯 Cs^{137} ,使得通过土层的 γ -射綫落到計数器上。依賴于蒸发掉的水分的数量計数器将表示出不同数量的脉冲;根据这些資料也計算出蒸发的損失。

为了提高蒸发水分計算的精确度
 γ -量子計数器安装在蒸发器上面的三个地点(图 29)。

A. И. 达尼林(1957)曾經指出过, 蒸发总损失以达到水层的 0.5—1.0 毫米的精确度被測量出来。

現在正在进行着关于采用放射輻射方法以測量植被蒸騰的試驗。

[陈昌篤譯(河流的記載以及水体和水道的研究部分
呂應三校)]

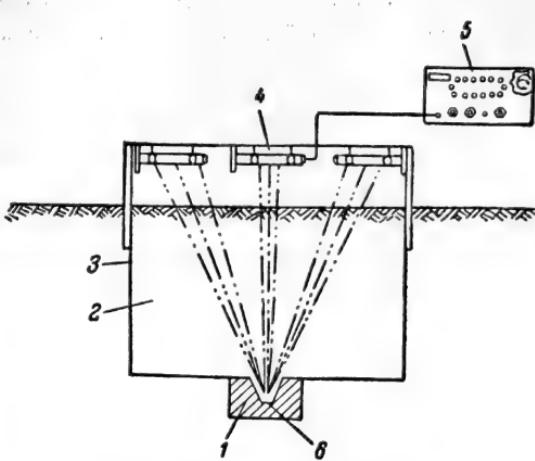


图 29 采用 γ -射線的蒸发器图式
1—鋁箱; 2—土壤; 3—蒸发器的外盒; 4—計
数器; 5—测量仪器; 6—同位素。

参考文献

Алпатьев А. М. 1954. Влагооборот культурных растений. Гидрометеоиздат, Л.

Антипов-Каратаев И. Н. и В. Н. Филиппова. 1955. Влияние длительного орошения на процессы почвообразования и плодородие почв степной полосы Европейской части СССР. Изд. АН СССР, М.

Арманд Д. Л. 1954. Изучение эрозии в лесостепных и степных районах СССР и состояние противоэрзийных мероприятий. Изв. Акад. наук СССР, сер. геогр., № 2.

Арманд Д. Л. 1955а. Естественный эрозионный процесс. Изв. Акад. наук СССР, сер. геогр., № 1.

Арманд Д. Л. 1955б. Классики русской науки и их вклад в проблему борьбы с засухой и эрозией. Сб. «Значение научных идей В. В. Докучаева для борьбы с засухой и эрозией в лесостепных и степных районах СССР». Изд. АН СССР, М.

Арчер С. и К. Банч. 1955. Луга и пастбища Америки. Изд. иностр. лит., М.

Ахмедсафин У. М. 1947. Новые данные о связи растительности с грун-

товыми водами. Вест. Акад. наук КазССР, № 1—2.

Ахмедсафин У. М. 1951. Поисковые признаки подземных вод в песчаных пустынях. Вест. Акад. наук КазССР, № 1.

Ахромейко А. И. 1950. Физиологическое обоснование разведения сосны в степях. Сб. «Бузулукский бор», т. III. Гослесбумиздат, М.—Л.

Басов Г. Ф. 1949. Гидрологическая роль лесных полос Каменной степи. Агробиология, № 1.

Бейдеман И. Н. 1946. Смена растительного покрова в связи с изменением режима грунтовых вод. Докл. Акад. наук АзССР, т. II, № 4.

Бейдеман И. Н. 1948. Роль растительного покрова в водно-солевом режиме почв. Почвоведение, № 7.

Бейдеман И. Н. 1952. Эколого-геоботанический очерк Мильской степи в Закавказье. (Рукопись. БИН АН СССР).

Бейдеман И. Н. 1953. Эколого-биологические основы смен растительного покрова (на примере низменности восточного Закавказья). Ботан. журн. т. 38, № 4.

Бейдеман И. Н. 1954а. Развитие растительности и почв в низменности восточного Закавказья. Сб. «Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР». Изд. АН СССР, М.—Л.

Бейдеман И. Н. 1954б. Транспирация хлопчатника при различных экологических условиях. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. III, Геоботаника, вып. 9.

Бейдеман И. Н. 1955. Водный режим растений и почв на пастбищах Ногайской степи. (Рукопись. Отчет Северо-Кавказской экспедиции АН СССР. БИН АН СССР).

Бейдеман И. Н. 1956. К методике изучения водного режима растений. Ботан. журн. т. 41, № 3.

Бейдеман И. Н. 1957а. Водно-солевой режим растений и растительных сообществ в пустынных районах Кавказа. Тез. докл. Делегатского съезда Ботан. общ., Секц. флоры и растительности, вып. IV. Изд. АН СССР, Л.

Бейдеман И. Н. 1957б. Наблюдения над изменением растительности берегов и заселением морского дна при отступании Каспийского моря. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. III, Геоботаника, вып. 11.

Бейдеман И. Н. и А. С. Преображенский. 1957. Взаимообусловленность развития почв и растительности в Куро-Араксинской низменности. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. III, Геоботаника, вып. 11.

Берг Л. С. 1938. Основы климатологии. Изд. 2-е. Учпедгиз, М.—Л.

Благовещенский Э. Н. 1956. Растения индикаторы грунтовой воды в пустынях. Изв. Геогр. общ., т. 88, вып. 5.

Близняк Е. В. 1952. Водные исследования. Речиздат, М.—Л.

Близняк Е. В. и В. М. Никольский. 1946. Гидрология и водные иссле-

дования. Речиздат, М.—Л.

Богданов С. 1889. Отношение произрастающих семян к почвенной воде. Изв. Киевск. унив., т. 29, кн. 5—8.

Варминг Е. 1901. Ойкологическая география растений. М.

Васильев И. С. 1949. Опыт определения величины десукации древесной растительностью. Вопр. географии, вып. 13. Географгиз, М.

Васильев И. С. 1950. Водный режим подзолистых почв. Сб. «Материалы по изучению водного режима почв». Изд. АН СССР, М.

Великанов М. А. 1948. Гидрология суши. Гидрометеоиздат, Л.

Веригина К. В. 1954. Агрохимический анализ почв в лабораториях МТС. Изд. АН СССР, М.

Вернадский В. И. 1936. История минералов земной коры. Т. II. История природных вод, ч. 1. ОНТИ, М.

Викторов С. В. 1955. Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. Изд. АН СССР, М.

Вильямс В. Р. 1922. Естественно-научные основы луговодства, или луговедение. Изд. «Новая деревня», М.

Вильямс В. Р. 1926. Почвоведение. Госиздат, М.—Л.

Вильямс В. Р. 1947. Почвоведение. Сельхозгиз, М.—Л.

Виноградов Б. В. и Е. В. Леонтьева. 1957. Использование аэрометодов для изучения растительности Северного Казахстана. Сб. «Материалы к использованию аэрометодов при изучении почв и растительности Сев. Казахстана». Изд. АН СССР, М.—Л.

Влияние агротехнических и лесохозяйственных мероприятий на сток. 1957. Матер. семинара, вып. 1. Изд. Моск. гос. Унив., Геогр. фак., М.

Воейков А. И. 1948. Климаты земного шара, в особенности России. Избр. соч., т. I. Изд. АН СССР., М.—Л.

Востокова Е. А. 1952. Членники Западного Казахстана. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, Отд. биол., т. LVII, вып. 1.

Востокова Е. А. 1953. Растительность как показатель геологических и гидрогеологических условий в пустынях и полупустынях в связи с их освоением. Автореферат дисс. Изд. Моск. гос. унив., М.

Востокова Е. А. 1955. Применение геоботанического метода при гидрогеологических исследованиях в пустынях и полупустынях. Сб. «Геоботанические методы при геологических исследованиях». Госгеолтехиздат, М.

Востокова Е. А. 1956. Геоботанические наблюдения при гидрогеологических исследованиях в Темирско-Актюбинском Приуралье. Сов. геология, сб. 56. М.

Высоцкий Г. Н. 1899. Гидрологические и геобиологические наблюдения в Велико-Анадоле. Почвоведение, № 1—4.

Высоцкий Г. Н. 1904. О взаимных соотношениях между лесной растительностью и влагой в южнорусских степях, ч. 1. СПб.

Высоцкий Г. Н. 1911. О гидроклиматическом значении лесов для России. СПб.

Высоцкий Г. Н. 1912. К вопросу о причинах усыхания лесных насаждений на степном черноземе. Тр. по лесн. опытн. делу, вып. 40. СПб.

Высоцкий Г. Н. 1913. Бузулукский бор и его окрестности. Лесной журн., вып. 1—2.

Высоцкий Г. Н. 1916. О степном лесоразведении и степном лесоустройстве. Докл., читанный в 1915 г. в засед. Лесн. отд. Киевск. общ. сельск. хоз. и с.-х. промышленности. Киев.

Высоцкий Г. Н. 1933. Режим почвенной влажности, грунтовых вод и солей в степных и лесостепных почвогрунтах. Сб. «Водные богатства недр земли», вып. VI. Л.

Высоцкий Г. Н. 1937. Водоразделы и увлажнение степей. Изд. ВАСХНИЛ, М.

Высоцкий Г. Н. 1938. О водоохранном значении лесов. Лесное хозяйство, № 4 (10).

Высоцкий Г. Н. 1950. Учение о влиянии леса на изменение среды его произрастания и на окружающее пространство. Гослесбумиздат, М.—Л.

Высоцкий Г. Н. 1952. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. Гослесбумиздат, М.—Л.

Галкина Е. А. 1937. Применение самолета при детальном изучении болот. Сб. «Применение самолета при геоботанических исследованиях». Изд. АН СССР, М.—Л.

Галкина Е. А. 1948. Применение аэросъемки при изучении болотных массивов. Тр. II Всесоюзн. геогр. съезда, т. II. Географгиз, М.

Галкина Е. А. 1949. Применение аэрофотосъемки при гидрографическом дешифрировании болот. Тр. Гос. гидролог. инст., вып. 13 (67).

Галкина Е. А. 1953. Пути использования аэрофотосъемки в болотоведении. Ботан. журн., т. 38, № 6.

Гармонов И. В. 1955. Карты грунтовых вод степных и лесостепных районов Европейской части СССР. Изд. АН СССР, М.

Гарруа Жан-Поль. 1954. Африка — умирающая земля. Изд. иностр. лит., М.

Геоботанические методы при геологических исследованиях. 1955. Сб. статей. Госгеолтехиздат, М.

Гефер Г. и А. Н. Семихатов. 1925. Подземные воды и источники. ГИЗ, М.—Л.

Голуш Б. М. 1954. О подвижности солей. Ботан. журн., т. 39, № 4.

Гулати Н. Д. 1957. Орошение в разных странах мира. Изд. иностр. лит., М.

Давыдов Л. К. 1947. Водоносность рек СССР. Гидрометеоиздат, Л.

Данилин А. И. 1957. Применение ядерных излучений в гидрометеорологии. Гидрометеоиздат, Л.

Дмитриев А. М. 1941. Луговодство с основами луговедения. Сельхозгиз, М.

Докучаев В. В. 1951. Наши степи прежде и теперь. Соч., т. VI. Изд. АН СССР, М.—Л.

Долгов С. И. 1948. Исследования подвижности почвенной влаги и ее доступность для растений. Изд. АН СССР, М.—Л.

Дохман Г. И., А. М. Якшина и О. В. Шахова. 1954. Об одном из методов изучения структуры фитоценоза. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, Отд. биол., т. LIX, вып. 2.

Дубах А. Д. 1951. Лес как гидрологический фактор. Гослесбумиздат, М.

Еленевский Р. А. 1927. Роль наноса в жизни поймы. Бюлл. почвоведения, № 3—4.

Елененский Р. А. 1936. Вопросы изучения и освоения пойм. Изд. ВАСХНИЛ, М.

Зайков Б. Д. 1946. Средний сток и его распределение в году на территории СССР. Тр. н.-исслед. учрежд. Гидрометслужбы, сер. 4, вып. 24. М.—Л.

Захаров С. А. 1927. Курс почвоведения. Сельхозгиз, М.—Л.

Знаменский А. А. 1938. Растительный покров и колебания уровня грунтовых вод. Почвоведение, № 9.

Иванов К. Е. 1953. Гидрология болот. Гидрометеоиздат, Л.

Иванов П. В. 1953. Быстрый метод определения влажности почвы. Почвоведение, № 3.

Измаильский А. А. 1892. Степное сено или посев кормовых растений в поле. Земледельческая газета, № 7—10, СПб.

Ильин В. С. 1930. Грунтовые воды. Больш. сов. энциклопедия, т. 19, изд. 1-е.

Каменский Г. Н. 1947. Поиски и разведка подземных вод. Госгеолиздат, М.—Л.

Каменский Г. Н. 1949. Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны. Тр. Лабор. гидрогеолог. проблем, т. VI, М.—Л.

Качинский Н. А. 1956. Почва, ее свойства и жизнь. Изд. АН СССР, М.

Кесь А. С. и А. М. Семенова-Тян-Шанская. 1951. Формирование склонов овражно-эрзационного рельефа. Пробл. физ. геогр., XVII, М.

Китредж Дж. 1951. Влияние леса на климат, почвы и водный режим. Изд. иностр. лит., М.

Климентов П. П. 1955. Гидрогеология. Госгеолтехиздат, М.

Костюкевич Н. И. 1949. Поверхностный сток на суглинистых почвах БССР в условиях леса и поля. Изв. Акад. наук БССР, № 4.

Костяков А. Н. 1951. Основы мелиорации. Сельхозгиз, М.

Крафтс А., Х. Корриер и К. Стокинг. 1951. Вода и ее значение в жизни растений. Перев. с англ. Изд. иностр. лит., М.

Ланге О. К. 1947. О зональном распределении грунтовых вод на территории СССР. Очерки по региональной гидрогеологии СССР, вып. 8 (12), Гидрометеоиздат, М.

Ларин И. В. 1956. Луговодство и пастбищное хозяйство. Сельхозгиз, М.—Л.

Лебедев А. Ф. 1936. Почвенные и грунтовые воды. Изд. АН СССР, М.

Литвинов Л. С. 1937. О корневом сосании. Сб. н.-исслед. работ Пермск. с.-х. инст., т. VI. Пермь.

Личков Б. Л. 1931. Изучение подземных вод в связи с задачами Единой гидрологической службы. Изв. Гос. гидролог. инст., вып. 34.

Лобанов Н. В. 1925. Критическая для высших растений почвенная влажность. Научно-агроном. журн., т. 2, № 4.

Лукичева А. Н. 1957. Карта растительности масштаба 1 : 25 000 000. Больш. сов. энциклопедия, т. 50, СССР, Растительный мир.

Львович М. И. 1938. Опыт классификации рек СССР. Тр. Гос. гидролог. инст., вып. 6.

Львович М. И. 1945. Элементы водного режима рек земного шара. Тр. н.-исслед. учрежд. Гидрометслужбы, сер. 4, вып. 18, Свердловск—Москва.

Львович М. И. 1950. Элементы водного режима рек земного шара. Гидрометеоиздат, Л.

Максимович Г. А. 1955. Химическая география вод суши. Географиз., М.

Манохина Л. А., И. В. Ларин и З. С. Акимцева. 1956. Влияние лиманного орошения на луговую, пустынную и степную растительность лимана Утиного. Сб. «Природа и кормовые особенности растительности лиманов». Изд. АН СССР, М.—Л.

Молчанов А. А. 1952. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. Изд. АН СССР, М.

Молчанов А. А. 1953. Сосновый лес и влага. Изд. АН СССР, М.

Надеждина М. В. 1956. Изучение травяного покрова склонов. Сб. «Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней». Изд. АН СССР, М.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. 1944. Вып. 6, ч. I. Гидрометеоиздат.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. 1945. Вып. 6, ч. II, разд. «Наблюдения на малых реках». Гидрометеоиздат.

Наставление гидрометеорологическим станциям. 1952. Вып. 6, ч. II.
Гидрометеоиздат, Л.

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. 1955. Вып. 8.
Гидрометеоиздат, Л.

Наставление по гидрологическому рекогносцированию рек, озер и болот.
Под ред. Я. Е. Джогана. 1942. Гидрометеоиздат.

Никитин П. Д. 1941. Полезащитное лесоразведение. Глава 1. Агролесомелиорация. Гослесбумиздат, М.

Овчинников А. М. 1955. Общая гидрогеология. Госгеолтехиздат, М.

Отоцкий П. В. 1899. О влиянии лесов на грунтовые воды. Почвоведение, № 2.

Отоцкий П. В. 1905. Грунтовые воды, их происхождение, жизнь и распределение. II. Грунтовые воды и леса, преимущественно на равнинах средних широт. СПб.

Отоцкий П. В. 1914. Схема залегания грунтовых вод на равнине Европейской России. Прил. к русск. перев. кн. К. Кейльгак, разд. «Подземные воды и источники». СПб.

Панков А. М. 1938. К вопросу о методах исследования почвенных эрозий. Сб. «Борьба с эрозией почв в СССР». Изд. АН СССР, М.—Л.

Пельтон У. и Л. Уеббер. 1956. Влияние орошения и внесения минеральных удобрений на содержание протеина в пастбищных травах. Сб. «Использование и улучшение сенокосов и пастбищ». Изд. иностр. лит., М.

Погребняк П. С., Г. М. Илькун и А. А. Солопко. 1957. Учет расхода влаги лесом по градиенту испаряемости. Докл. Акад. наук СССР, т. 113, № 2.

Полтараус Б. В. 1956. Влияние сети полезащитных лесных полос на снегозадержание. Сб. «Сельскохозяйственная эрозия и борьба с ней». Изд. АН СССР, М.

Поляков Б. В. 1946. Гидрологический анализ и расчеты. Гидрометеоиздат, Л.

Попов И. В. 1951. Инженерная геология. Изд. геолог. лит., М.

Попов В. Н. 1955. Организация и производство наблюдений за режимом подземных вод (инструктивные указания). Гидрометеоиздат, М.

Поспелов А. М. 1948. Орошение способом дождевания. Сельхозгиз, М.

Почвенная съемка. 1959. Руководство по полевым исследованиям и картированию почв. Изд. АН СССР, М.

Преображенский А. С. 1957. Опыт изучения географии и топографии почв Северного Казахстана с использованием материалов аэрофотосъемки. Сб. «Материалы к использованию аэротметодов при изучении почв и растительности Сев. Казахстана». Изд. АН СССР,

М.—Л.

Приклонский В. А. 1937. Гидрологические исследования в ирригационных районах. Тр. Моск. геол.-развед. инст., т. VI.

Приклонский В. А. 1946. Формирование грунтовых вод засушливых областей на примере Кура-Араксинской низменности. Изв. Акад. наук СССР, сер. геолог., № 4.

Рассель Э. 1955. Почвенные условия и рост растений. Изд. иностр. лит., М.

Рац И. И. 1938. Влажность почвы и расход влаги на десукацию корневыми системами древостоя в грабовом насаждении. Пробл. сов. почвоведения, сб. 6, М.

Роде А. А. 1933. Опытная установка для определения величины испарения грунтовых вод и количества осадков, достигающих их уровня. Почвоведение, № 2.

Роде А. А. 1952. Почвенная влага. Изд. АН СССР, М.

Роде А. А. 1955а. Почвоведение. Гослесбумиздат, М.—Л.

Роде А. А. 1955б. Водные свойства почв и грунтов. Изд. АН СССР, М.

Рутковский В. И. 1958. Влияние лесохозяйственных мероприятий на сток рек. Изв. Акад. наук СССР, сер. геогр., № 3.

Сабиров М. С. 1950. Лиманное орошение в Казахстане. Казахск. гос. изд., Алма-Ата.

Саваренский Ф. П. 1935. Гидрогеология. ОНТИ, М.

Саваренский Ф. П. 1950. Избранные сочинения. Изд. АН СССР, М.

Семенова-Тян-Шанская А. М. 1949. Растительность и оврагообразование. Тр. Юбил. сессии, посвящ. 100-летию со дня рожд. В. В. Докучаева. Изд. АН СССР, М.—Л.

Семенова-Тян-Шанская А. М. 1951а. Динамика растительного покрова на меловых эродированных склонах в связи с проблемой их освоения. Тез. докл. делегатск. совещ. Всесоюзн. ботан. общ. Изд. АН СССР, М.—Л.

Семенова-Тян-Шанская А. М. 1951б. Роль растительности в развитии эрозионных процессов на Приволжской возвышенности. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. III, Геоботаника, вып. 7.

Семихатов А. Н. 1934. Подземные воды СССР, ч. 1. Горно-геолого-нефтян. изд., Л.

Скородумов А. С. 1953. Влияние лесных полос на водный режим полей. Лесн. хозяйство, № 11.

Смарагдов Д. Г. 1940. Роль леса в борьбе с мелководием рек. Тр. Всесоюзн. н.-исслед. инст. лесн. хоз., вып. 18. «Водоохранная роль леса».

Смелов С. П. 1955. Введение. В кн.: Луговодство в поймах. Под ред. С. П. Смелова и Н. С. Конюшкова. Сельхозгиз, М.

Соболев С. С. 1948. Развитие эрозионных процессов на территории

Европейской части СССР и борьба с ними, т. I. Изд. АН СССР, М.—Л.

Соколов А. А. 1952. Гидрография СССР. Гидрометеоиздат, Л.

Соколовский Д. А. 1952. Речной сток. Гидрометеоиздат, Л.

Справочник по мелиорации и гидротехнике. 1945, т. 3. Сельхозгиз, М.

Степанов Н. Н. 1938. Лес как фактор защиты почв от эрозии. Сб.

«Борьба с эрозией почв в СССР». Изд. АН СССР, М.

Сулин В. Я. 1948. Гидрогеология нефтяных месторождений. Гостоптехиздат, Л.

Сус Н. И. 1949. Эрозия почвы и борьба с нею. Гослесбумиздат, М.

Торн Д. и Х. Петерсон. 1952. Орошаемые земли. Изд. иностр. лит., М.

Фальковский П. К. 1939. Круговорот влаги в природе под влиянием леса. *Почвоведение*, № 4.

Федоровский Д. В. 1948. Зависимость коэффициента завядания от вида растений и осмотического давления почвенного раствора. *Почвоведение*, № 10.

Федоровский Д. В. 1954. Методы определения некоторых физических и водных свойств почвы, применяемые при полевых и вегетационных опытах. Сб. «Агрохимические методы исследования почв». Изд. АН СССР, М.

Ферсман А. Е. 1934—1939. Геохимия, тт. 1—4. Изд. 2-е. ОНТИ, Л.

Форш Л. Ф. 1957. Испарение и транспирация в дельте Аму-Дарьи. Тр. Лабор. озеровед. АН СССР, т. IV.

Францессон В. А. 1951. О почвенной влажности устойчивого завядания растений. Сов. агрономия, № 7.

Харитонов Г. А. 1938. Лес как фактор защиты почвы от эрозии и приемы противоэрзийной мелиорации. Сб. «Борьба с эрозией». Гослесбумиздат, М.—Л.

Хильми Г. Ф. 1950. О задержании лесами дождевых осадков. Изв. Акад. наук СССР, сер. геогр. и геофиз., т. XIV, № 5.

Черкасов А. А. 1950. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. Изд. 3-е. Сельхозгиз, М.

Черняк Г. Я. 1955. Методы определения естественной влажности и пористости песчаных грунтов. Информац. матер., № 7, Всесоюзн. н.-исслед. инст. водоснабж., канализ., гидротехн. сооружений и инженерн. гидрол., М.

Чугунов Л. А. 1940. Луговодство. Сельхозгиз, Л.

Шелаев А. Ф. 1950. Биологический дренаж. Изв. Акад. наук УзССР, № 3.

Шелаев А. Ф. 1953. Биологический дренаж в борьбе с засолением почв в зоне Главного Туркменского канала. Хлопководство, № 1.

Шенников А. П. 1941. Луговедение. Изд. Ленингр. гос. унив., Л.

Bates C. G. 1924. Forest types in the central Rocky Mountains as

affected by climate and soil. U. S. Dept. Agr. Bull., 1233.

Briggs L. J. and H. L. Shantz. 1912. The wilting coefficient for different plants. U. S. Dept. Agr. Bur. Pl. Ind. Bull. 230.

Henrici M. 1940. The transpiration of different plant associations in South Africa. Part I. Transpiration of Karroo bushes. Sci. Bull., 185, Dept. Agr. a. Forestry U. South Afr.

Henrici M. 1946a. The transpiration of South African plant association. Sci. Bull., 247, Dept. Agr. a. Forestry U. South Afr.

Henrici M. 1946b. The transpiration of South African plant associations. Part III. Indigenous and exotic trees in the Drakensberg area. Sci. Bull., 247, Dept. Agr. a. Forestry U. South Afr.

Henrici M. 1946c. Transpiration of different plant associations in South Africa. Part IV. Parland, forest and sour mountain grassveld; large Karroo bushes. Sci. Bull., 244, Dept. Agr. a. Forestry U. South Afr.

Henrici M. 1948. Transpiration of South African associations. Part II. Indigenous and exotic trees under semi-arid conditions. Sci. Bull., 248, Dept. Agr. a. Forestry U. South Afr.

Hopkins B., J. Skellam. 1954. A new method for determining the type of plant individuals. Ann. Bot., vol. 18, № 70.

Horton R. E. 1923. Transpiration by forest trees. Monthly Weather Rev., v. 51.

Lee C. H. 1942. Hydrology. In: O. E. Meinzer. Physics of Earth, ch. VIII a. IX. New York.

Lemée G. 1953. Contribution a l'étude écologique de la végétation des confins Saharo-Marocains. Desert Research, Jerusalem.

Meinzer O. E. 1937. Plant as indicator of ground water. U. S. Geol. Surv., Water.-Supply Paper, 577.

Robinson T. W. 1957. Phreatophytes. U. S. Geol. Surv., Water.-Supply Paper, 1423.

Tison L. J. 1957. Hydrologie. Recherches sur la zone Aride-IX Dans: Guide des travaux de recherche sur la mise en valeur des régions Arides. Unesco.

論土壤形成因素和土壤過程

A. A. 查瓦里申(Завалишин)

(苏联科学院土壤博物馆)

引　　言

土壤是植被的发育与之发生相互作用的最重要的环境要素之一。

大家知道，地植物学是完全建筑在植物和环境之間的生态关系的研究的基础上。土壤不仅是这一环境的重要成分，而且它具有这样的特性，研究了这些特性，就使我們有可能了解一定生态相互关系的形成过程，也就是植被組成及其在地表分布的現代規律的形成历史。

这是因为，按照 B. B. 道庫恰耶夫的說法，作为“景观的一面镜子”的土壤，在它的結構和性质中好象結晶了同样影响到植物生活的各种不同自然現象的作用。由于这个原因，土壤虽然只是植被生活环境的主要成分之一，但根据土壤的研究，有可能获得关于所有这些成分的相互作用性质的概念。

在土壤的性质之中有着或多或少稳定的部分。稳定特征的形成是在逐渐形成的自然綜合体的作用下而发生的长期过程。如果说土壤成分会逐渐地变为另外的成分，那么，这些土壤性质可能不是全部地改变，并且对土壤形成因素（包括植被的組成和特性在內）的变化而言有某种落后。这意味着：土壤在某种程度上是保守的自然体。但是，由于土壤在决定土体的成分的組成和性质方面，在它的剖面結構方面，是复杂的多相形成物（гетерогенное образование），在其中除了与土壤形成的世纪周期相联系的稳定特征，

有时是残遗特征之外，永远可以发现較不稳定的，在短期的物质轉化和运动的現代周期影响下产生的进展特征。

因此，通过土壤分析，土壤发生剖面结构的研究，同时严格地考虑周围地理环境的性质及其在該地方不同地点的变化，就有可能判断当地土被的发育历史，从而在一定程度上判断植被的发育及其演替的历史。

所以，从地植物学观点看来，土壤研究的意义在于：第一，根据与一定植物群落的或多或少长期作用相联系的土壤特征的研究，可以帮助追溯这一或那一地点的植被的发育历史；第二，土壤性质的研究有助于确定植物群落的这些或那些现代生态特性和阐明作为一定土壤条件的标志（指示体）的植被的各个代表的意义。最后，第三，土壤研究可以提供对植物生活环境的最重要成分之一¹⁾的客观評定。

对土壤变化考虑不足，尤其是完全忽视土壤学的研究，常常导致对植被的发育和演替規律作出錯誤的結論。在确定植物群落在时间上的演替順序时特別容易犯这样的錯誤，如果根据植物群落在空间上的一个或若干个系列的分析去研究植被-土壤綜合体的話。在这种情况下，沒有考慮到在一系列場合中制約于尙未被揭露的許多其它土壤形成因素（母质的、水化学状况的更替等等）的影响的土壤和植被变化的真实原因。

本文将試圖討論土壤形成的某些基本問題和土壤研究方法，研究植被时知道它們可能是有益的。

土壤形成因素

野外土壤研究的基本方法是 比較-地理法 (сравнительно-географический метод)，土壤的性质和结构以及与土壤相互作用的所有地理环境要素的空间变化的共轭研究是这种方法的基础。

1) 指土壤而言——校者注。

研究了土壤性质和土壤剖面結構在不同的，严格地被考慮的地理条件下的变化，首先使我們有可能确定各种土壤特征与它們发育历史的这些或那些情况的相关关系，其次也可以揭露土壤性质对土壤形成的这些或那些因素的作用的依賴关系。当然，在这种情况下，要广泛利用物理学和化学所确定的物质运动和轉化規律的各种概念。大家都很知道，首先为科学土壤学的奠基人 B. B. 道庫恰耶夫所采用的，并以他所制定的基本原則为基础的这个方法，是認識无论全世界或是每个具体地区的土壤的形成和分布規律的最重要工具。

然而，就在土壤学产生的最初几年，比較地理法已为实验室的和田間的实验所补充了，而且，它們的意义在逐年增长。現在，尽管土壤形成過程的实验室-实验和定位-物候研究在加强发展，比較-地理法决沒有失去它的意义，而相反，由于保証揭露土壤形成及其与地理环境要素，也就是所謂土壤形成因素的联系的許多最重要規律的一系列相邻学科和土壤学本身的发展，这个方法在更有成效地被应用着。

我們的关于土壤这些或那些特征对一定自然因素作用的依賴性的知識还远不够完备，因为这些依賴性随这些因素的不同結合而改变。确定这些依賴性的主要困难是由于下列两点：1)土壤形成的任何自然因素的变化一定要引起其它共同对土壤起作用的因素的变化；2)在地理环境要素的这种或那种配合下，每一个因素的作用程度不同。

讓我們較詳細地分析一下这两种情况。

大家都知道：B. B. 道庫恰耶夫曾經強調土壤对气候、植被、动物有机体、母岩、地形、地区的时间或年龄这些自然因素的依賴性。后来，潛水、地心引力和人类的經濟活动也被建議列入这些因素之中。然而，象地心引力这样的因素是經常起作用的条件，因此，在研究土壤的空間变化时我們可以不去討論它。

当然，人类的經濟活动对現代的土壤形成過程，对广大地域的土被都有巨大的影响。这是不同等級(различный порядок)影响

的特殊綜合体。在其組成中上述土壤形成的这些或那些自然因素作用的定向变化具有最大的意义。因此，只有懂得了土壤与土壤自然形成因素的关系的机制，才能了解这种作用。

至于作为土壤形成特殊因素的潛水，那么，它們的特性首先在于：与 B. B. 道庫恰耶夫划分的所有其它因素不同，它們不是对所有土壤都具有意义，而只是对处于近旁流水影响下的那些土壤才具有意义。按照这个观点，对于斜坡的地面坡积水和对于河漫滩土壤的河流冲积水都可以认为是土壤形成因素(Роде, 1947)。作为土壤形成因素的流水的另一特性在于：它处于既直接地，也通过在該地方占优势的土壤形成过程，对它起作用的其它因素綜合体的极强烈影响之下。因此，只有研究了 B. B. 道庫恰耶夫 所确定的一般土壤形成因素之后，才有可能弄清楚这一因素的影响。

B. B 道庫恰耶夫所确定的上列五个因素中的最后一个——地区的时间或年龄——應該特別地对待，不能与其它因素相提并論，因为其它每种因素都在时间上表現出自己的作用，而时间本身却不可能是独立存在的土壤形成因素。

至于前四个因素，那么，如大家所知，它們在自然界是相互作用，并因而形成一定的結合。在这些結合中，每一个因素可能只具有某种程度的独立性。然而，土壤形成的自然因素的相互制约性表現得很大相同，首先是或多或少地既在空間上，也在时间上表現出来。

大家知道，气候是独立性最大的自然因素，但是，气候对植被、母岩和地形的独立性只是表現在自然地理綜合体，也就是地帶和亚地帶的分布的最一般規律方面，在这种地帶和亚地帶的形成中，气候起着决定性的作用。而相反，在每一个地帶和亚地帶内部，这一因素的变化非常紧密地联系，并且几乎完全从属于地形和植被的影响，也在某种程度上联系和从属于母岩的影响。

在上列的自然因素中，一方面气候与生活有机体，另一方面，地形与母岩，形成了最密切的相互联系。

在分析各种因素对土壤形成过程的作用时，极其重要的是区

分出它们对岩石上层物质的移动和轉化过程的直接影响和間接影响,这些影响就是土壤的形成过程和生活的实质。大家知道,因素的这种划分曾經為 H. M. 西比尔采夫(Сибирцев, 1899), 后来是 C. C. 涅烏斯特魯耶夫(Неуструев, 1930), 特別明确地表述出来。从 A. A. 罗德(Роде)的著作中可以找到对 C. C. 涅烏斯特魯耶夫的表述的某些补充。

根据这些概念,直接影响應該被理解为,該土壤形成因素直接改变作为土壤形成过程实质的能量或物质平衡或物质循环的动态的那种作用。与此相适应,土壤形成因素的間接影响表現在籠罩土壤的循环过程的平衡或动态的类似变化上,但只是通过其它因素作用的改变而发生。

所有这些土壤形成的自然因素(时间除外)对土壤既有直接的作用,又有間接的作用。在第一种情况下,它們起着因素的作用,而在第二种情况下,最好把它們当作土壤形成条件。

A. A. 罗德(Роде, 1947)曾經提出过“土壤形成因素”概念的定义。按照他的意見,土壤形成因素應該是这样的自然現象,这种現象是参加到土壤形成过程的、直接起作用的物质和能量源。

关于“土壤形成条件”这个概念的定义情形就比較复杂了。最简单的办法似乎是把通过任何其它作用于土壤的自然現象参加到物质和能量交换的那种現象叫做土壤形成条件。然而,这个定义不适合于地形这个地理綜合体的重要成分。地形的作用是完全特殊的。如果談論的是地表性质或多或少均一的地段,就不能說到地形对土壤影响。在这种情况下,地形对土壤形成过程的意义类似于地理位置的意义。但是,只要我們一涉及到研究具有不同地形形态的这个或那个地方的土被的必要性时,馬上就表現出地形在土壤的空間变异性中的极重要作用。然而,地形的作用永远是消极的,因为海拔、坡度、坡向或地表切割程度的变化主要只是引起近地空气层气候,地表水和土壤-土质水分状况的改变。

不同的自然現象可能有时在很大程度上,有时在頗小程度上是土壤形成的因素,相应地,可能在有时大有时小的程度上是土壤

形成的条件。

在 B. B. 道庫恰耶夫所分出的前四个因素中，應該认为地形是最小的土壤形成因素和最大的土壤形成条件。相反，必須承认植被及其伴生的微生物和动物是最大程度的因素。因此，應該強調生物因素不論在土壤的最初形成过程，或是在以后不断进行的土壤过程中的特殊意义。正因为如此，无怪乎常常从許多土壤学家那里听到这样的論断：生物因素是土壤形成过程的基本的，主导的因素，而綜合体的其它成分只有从属的意义。

这个論断需要加以解释。

当然，應該认为植被、微生物以及与土壤相联系的整个生物綜合体是土壤形成过程的主导因素。一部分有机体钻入土壤深处并且是土体不可分割的部分，这与上述毫不矛盾。有机体并不因为这点就失去它們的独立性质，而它們周围的土壤仍然是它們的生活环境。

生物在土壤过程中的主导意义不仅是由于：任何一种土壤都不可能在沒有生物的作用下形成。大家知道，土壤也不可能在沒有 B. B. 道庫恰耶夫所指出的其它自然現象的参加下形成。但是，有机体是最直接和最积极的土壤形成因素——能量的集中者和轉化者，同时是其它自然因素对土壤的直接作用的极其有效的改造者。

因此，生物因素不仅是最积极的土壤因素，而且它在一定情况下也能对土壤中物质的移动和轉化起非常强烈的間接影响。

同时，虽然植被和整个生活有机体的綜合体在大多数情况下制約着土壤形成过程的最重要組成部分——生物循环，但植物的分布和它們的生命活动性质却又依賴于其它因素，这就是：依賴于地形及其发育历史，依賴于母质的組成和性质以及依賴于气候的地方性变化。因此，在我們所觀察到的土壤的空間变化中，地形和母质所起的作用，并不亚于生物，甚至在这些变化直接取决定生物循环的不同效果时也是如此。

由此可见，有必要区分这些或那些土壤形成因素的作用性质。

例如,达到某种程度的地形变化就要通过植被(和与植被相联系的微生物)的更替而在土壤中反映出来,并且,在(例如,盆地深度、斜坡的陡度和朝向等等)变化程度进一步增大时,才开始其它因素对土壤作用的重大改变。因而,在这种情况下,我们可以把上述地形变化的第一阶段看成土壤形成的一定条件,这时整个地域的植被仍然是主导的土壤形成因素。可是,在地形变化的第二个阶段,植被就可能失去它在土壤形成过程中的主导作用,而流动潜水或近地空气层的水-热状况的影响占居着首要地位(从土壤特征改变的观点来看)。地形在这一地域还是土壤形成过程的一定条件。

同样,可以确定下垫成土母质的成分和性质的变化影响土壤的不同情况。到一定时候为止这种影响可能主要表现在改变生物循环的特点上(例如,在1.5—2.0米深处的成土母质中出现碳酸盐,只有深根系植物的个别根达到这个深度时),然后才直接影响土体和土壤溶液矿物成分的变化。

可见,这里,在母质变化的第一个阶段它的作用主要是归结于决定土壤形成的条件,而植被仍然是主导的,它决定在土壤上层的土壤形成过程产物的或多或少强烈的生物性积累。但是,在母质的成分和性质的变化接近于地表的地方,这种变化不仅成了一定的土壤形成条件,而且成了很重要的、新的、直接起作用的土壤形成过程变化的(直接)因素。

就是根据这些土壤形成因素和条件的作用的改变程度和性质,使我们有可能通过不同土壤系列的比较研究,确定土壤的这些或那些特征与一定自然现象的联系。综合位于不同地表部位的、在不同植被下的、在不同母质上的等等的土壤研究成果,依次排除这些或那些因素的影响以便确定它们的比重和最终地划分出在该因素条件下最重要的因素,即可达到上述目的。但应永远注意,用这样的方法所确定的所有原理都是极其近似的,因为土壤的任何一种特征都不是决定于某一个因素,而永远是许多自然现象相互作用的结果。随着观察次数的增多,这些结论的正确性也加大。

然而,在这种情况下,不必要力求找到完全相同的一对土壤剖

面或土壤剖面系列。相反，在順次近似地有时排除这个，有时排除那个因素（例如，在研究一系列由不同組成的，但处于相近地形条件下的土壤剖面时的排除地形因素，研究从地表开始就由或多或少一致的岩石組成的不同地形部位上的土壤系列时的排除母质因素）的情况下，土壤植被的变种研究得愈多，就愈能較全面地了解土壤形成过程的地方特性，因此也愈能較全面地了解土壤和植被的相互作用。为此，注意研究土壤的过渡性变种（即使它們就所占面积而言沒有什么实际意义而且也不能在图上表示出来）也同样十分重要。它可帮助我們确定所研究的土壤和它們的复盖之間的发生学关系，并且易于了解作为当地特征的总的物质循环。

为了弄清楚每一种因素在地理环境全部其它要素的这种或那种結合下对土壤产生不同程度作用的原因，必須詳細談談生物因素的作用。

上面已經指出了生物循环对土壤的直接作用的意义。但必须注意到，在这个或那个其它因素的性质具有特殊强度的地方，生物因素的直接影响就可能退居第二位。与此同时，植物 和整个土壤有机体的总体由于能在土壤之上造成一定的气候，并且作用于地形发育过程，所以也可以对土被的形成产生极其强烈的間接影响。

應該认为，生物因素的第二个很重要的特性是它的影响的极其多方面，也就是說，在不同环境条件下表現出时而这样时而那样的作用方式的，通过不同的途径創造土壤的能力。

現在来分析一下土壤形成过程中生物因素作用的所有这些特性的若干例子。

作为第一种情况的例子，可以指出下列众所周知的現象：在貧瘠或肥沃的母质上的土壤形成过程中，一方面 由于植被組成的变化；另一方面由于被植物吸收参加循环的物质数量的变化，生物循环也发生变化。母质愈肥沃，在其它条件相近时，参加循环的物质也就愈多。由于这个原因，所产生的土壤形成 过程性质的差异将在每一个个别情况下直接制約于生物因素，不过，是由母质成分和性质的变化所引起。

关于其它因素——气候和地形——的作用，也可举出同样的例子。上面在討論各种因素的主导或决定作用时，我們已經涉及了这点。

至于第二种現象，可以許多盐漬化土壤的形成过程为例，虽然它們的性质主要与純粹的物理或物理-化学过程有联系，只是在很小的程度上制約于植被或微生物的影响。生物因素在这里并未失去它的意义，但它的作用已是比較間接的，即通过其它因素（如潛水的成分或地面空气的水分-热量状况）表現出来。在植被很少参加下的土壤形成过程的另一个例子是北极土壤的形成，那里，在冻结的影响下有明显表現的物质移动現象，在作用层范围内有水的周期性季节冻结和解冻的作用特征，有盐分在接近地表处的积聚等等。

在所有这些情况下，任何一个自然因素（除生物因素外）：气候、母质性质、潛水成分和埋藏深度，都具有这样的强度，在这种强度下植被和其它有机体对土壤的直接作用由于它們的生活特性而显著地减少。由此可以解释上述的一个情况：即在不同的地理条件下，每一种因素对土壤的影响以不同程度表現出来，也就是说，它可能或多或少地引起土壤特征的对比明显的更替。例如，同样大小的地面傾斜或坡向的变化在一个地方可能只对土壤的个别性质表现出微小的影响（影响碳酸盐的淋溶性程度、土壤最表面的土壤溶液反应、腐殖质的含量等等），但在另一个地方，这种变化就将引起土壤新的、质的特征的出現，并且表現在土类特征的改变上。

作为土壤形成因素的生物有机体，首先是植被和微生物的性质特征，是不同地理条件下同一因素对土壤的作用的这些差异的基础。

必須注意，在这些或那些土壤形成因素或条件的作用非常微小地变动的情况下，当这些变化接近于与土壤相联系的一定生活有机体群的生命活动的临界范围时，我們觀察到土壤性质的显著改变。在土壤湿润程度变动到或者接近水分的吸收性下限，或者接近沼泽化的边缘时，最常发生这样的改变，当然，这些变动的表

現可能是极其多种多样的；可能具有不同的持續時間，可能在生长期間或者較迟或者較早地开始，可能符合于溫度状况的一定情况，以及与一般气候条件和地方性的地貌条件相联系。水分-热量状况变体的多样性也相应于对土壤起不同作用的，具有不同的一套生活型的植物群落的某种更替。

接近地表的潜水的盐漬化或位置不深的母质层中易溶盐类侵入体的存在对土被的变化也具有同样大的意义。在某些地方的很貧瘠的或风化很微弱的岩石上，植物群落和微生物所必需的吸收性矿物元素的低浓度可能在显著表現的土壤空間变异中起重大作用。这样的地段上岩石成分或地形的微小的局部变化同样能在土壤性质的非常明显的变化中得到反映。

在具有不同坡向山坡的强烈切割的山区，特別是在一定的垂直带，那里的水分-热量状况已接近于不同植物群落类型的临界值，有些地方可以看到对照非常明显的土壤組合。这时在一些情况下觀察到阳坡（例如在森林草原带）的变化具有較重要的意义；在另一些情况下，迎风坡的变化（例如在森林冻原带）具有較重要的意义（Фридлянд, 1951）。在所有这些情况下，土壤性质中最重要的差异是制約于植被的更替。而由于这个原因也制約于植物残体分解的性质和强度。

当然，不能否认，在一定的变化范围内，其它因素也能对土壤特征的空間变异性产生重大的影响。作为例子，可以指出当降水和水面蒸发的比值接近于1时气候状况变化的意义。在这样的地段，地方性的地形条件或岩石成分的微小变化也可促进，例如碳酸鈣和土壤形成过程的其它可移动产物，在土壤中积聚或从土壤中淋走。但不能忘記：这一現象在每一个該土壤中还极大程度地依賴于植被的組成和生命活动，因为正是在这种气候变化的范围内，植被在确定土壤的这种或那种水分状况方面具有决定性的意义。

在苏联欧洲部分东南部土壤复域形成过程的描述中可以看到植被影响土壤形成过程的很鮮明的例証（Иванова и Фридлянд，

1954)。

土壤复域是小范围内土被不一致性的典型表现之一。不一致性可以分为三种:斑点性、复域性和组合。

E. H. 依万諾娃(Иванова)所称的斑点性(пятнистость)是这样一种土被的不一致性,在这种不一致性的情况下,在短距离内土壤特征的变化不超出土种范围内这些特征变化幅度的范围,同时变化的界线不清楚,而相反,是十分模糊的。

复域性(комплексность)乃是彼此间界线非常明显的,不同土类或亚类的,也就是具有质的特性的土壤小斑点的相互交替。土壤复域的特点是在复域的各个成分之间存在着密切的发生学联系;在复域中,各个成分是在自己发育方面相互制约的。复域中各个土壤的面积很小,因此,从经济的观点上看,应把每一个复域当作一个整体。

土壤的复域性与植被、潜水的成分和状况的复合性,而在大多数情况下与微地形,都共轭相关。

在土壤复域的形成过程中,植物群聚之间的界线或多或少显著地区分出来,也象不同土壤——该复域的成分之间的界线一样。

与此相反,在斑点性的情况下,在具有或多或少斑点的一个土种所占的地域范围内,植被组成没有重大的差别。斑点的形成,也就是土壤各个特征的变化常常甚至是互不相关的,而可能是不同因素影响的结果。有时,在森林中大树干附近,或在腐烂树桩的周围,或在巨砾近旁,而有时也在完全一致的植被下,都可直接观察到斑点。应该承认,土壤的斑点性还研究得很少。在个别情况下,很清楚地看到斑点与复域的联系。

土被的第三种不一致性——组合(сочетание),这是适应于不同中地形部位的或多或少小块的土壤地域单位的总合。每一个这样的单位本身在一定程度上具有独立的发育历史,并且在经济方面是一个特殊的单元。各个组合之间的发生学联系可能在个别情况下发生(例如,中泰加沙壤地段范围内沙质弱灰化土与泥炭-赭石潜育土的组合,南泰加碳酸盐冰磧丘陵区生草-灰化土与暗色生

草潛育土的組合等等),但并不一定。

E. H. 伊万諾娃和 B. M. 弗利德梁德在描述土壤复域的形成过程时着重指出:植被是决定复域的因素。他們写道:“复域出现在这样的地方,那里形成了最复杂的群落生境,以致不能产生一致的,发育得好的植被”。

但是从作者們的这个断言和进一步的描述中可以得出結論:植被的作用在复域形成过程中可能是主导的,不过,产生植被不一致性的第一个推动力,也就是复杂生境的最初形成,是制約于其它的因素:成土母质的成分和性质或者微地形的雛形。因此,在这种情况下,也象土壤組合的形成过程一样,具有主导意义的不是生物因素,但在以后,当土壤剖面在植被的积极影响下发育时,生物因素的作用就逐渐增加了。同时在这一阶段,在复域形成和发育情况下,植物群落的直接影响方面与它們的积极作用的减弱和对土壤性质变化的适应方面相互結合着(或交替着)。

E. H. 伊万諾娃和 B. M. 弗利德梁德在干旱草原地带对土壤复域的演化所进行的觀察非常重要。他們在追溯从水下露出的原生平原地面,也就是河漫滩上或干涸湖泊沿岸的土被变化过程时,曾經确定了植被和土壤复域形成过程的四个基本阶段:草甸阶段、盐土阶段、草甸-草原阶段和草原阶段。按照它們的意見,决定上述各阶段在时间上的演替的因素是地形的发育和与地形相联系的該地面水分状况的变化。植被的整个演替系列和土壤变化的全部循环都取决于河漫滩阶地露出水面的速度,取决于洪水情况的变化和潜水位的降低。复域的形成过程也与这些現象相联系,然而,在每一个一定的发育阶段它已經从属于自己的規律了。

第一阶段——草甸阶段——其特点是植被和土被的最大一致性,虽然植被在局部地方可以看到显著的分化。同时,年青冲积平原上的土被的一致性依赖于冲积物——土壤母质——的一致以及稳定的水分和盐分状况。在大多数情况下,由于制約于周期性的洪水和潜水的流动性的比較强烈的水交换,在草甸阶地上形成了对于植被的发育比較有利的环境,而在湿度或盐分浓度方面的

临界点尚未出現。当然，在河漫滩表面的这些或那些部分，蓄水条件和盐分状况可能改变，而这就决定了組成略为不同的植物群落的出現和植被的杂色性的形成。但在土壤中，这种杂色性还反映得不明显，在大多数情况下，只是在个别的、較易改变的特性中有所表現。

第二个阶段——盐土阶段，特征是：植被对土壤形成过程的直接影响减弱，土壤的植被覆盖程度有頗大的分化，土被表現出清楚的斑点性。这种主要制約于最初汎水-堆积的微地形的斑点性，乃是复域性发育和次生微地形形成的萌芽。在这种情况下，植被的影响主要归結于蓄水条件和盐漬化过程的变化。但是，这些变化可能在复域的进一步演化过程中具有最重要的意义。

第三个阶段——草甸-草原阶段，植被和土壤都具有最大的不一致性，而且，这种不一致性具有复域性的典型性质：具有不同土壤结构的地段之間的界綫已非常明显，土壤本身具有比較稳定的和对照非常鮮明的特征，一致性土壤的分布面积縮小。在这一阶段，土层的湿润主要靠大气水，但与潜水的联系沒有完全停止。

土壤性质和结构的显著差別在这里主要是由于不同地段土层的脱盐-盐漬化过程的不一致，后者又是因为土壤在前一阶段所积聚的盐分数量不同、潜水盐类成分的不一致、微地形的发育（次生潜蝕-沉陷微地形在原生汎水-堆积微地形上的迭置）和以最强烈的程度影响土壤的湿润程度和湿润性质的植被的相应分布。在这一阶段，生物因素的作用增加：在开始阶段，植被对土壤的水分-热量状况，从而对盐分状况的影响仍然具有决定性的意义，但往后，生物循环、碳素化合物、灰分元素和氮素对土壤结构和性质的直接影响愈来愈大。

第四阶段，这个系列的最后阶段——草原阶段，其特征是植被和土被的不一致性总的减弱，特別是与上一阶段比較起来。但在古冲积平原面发育的这一阶段，产生了新的、土壤-植被不一致性的型式，然而，这种型式的形成过程在一定程度上是决定于該地面形成的过去历史。这种新的，已經是草原的、植被和土壤的复域与

潛水沒有联系，它們是按照經常性和暫時性水流的加深程度以及新型式侵蝕地形的形成而产生的。因此，在長丘斜坡上和在沖溝沿岸低洼地中，殘積性的鹽分堆積接近地表，地表水可達到它們的高度。其結果是發生鹽分的移動，植被的重新分布和新的復域的形成¹⁾。

根據不同作者(Розмахов, 1940; Иванова и Фридлянд, 1954)的描述判斷，草原復域的形成途徑是不同的，但是，幾乎它們全部都可以被看作是在草甸平原上干旱草原地面形成的以前歷史的回聲。在這個階段的植被是在新的情況下或多或少地重複着它在沖積平原的地形和水分-鹽分狀況變化的比較早期階段的復域形成過程中所起的作用。在這裡我們也可看出：植被重新分布和土壤形成過程分異的最初動力是決定於地形的發育和母質(或老土壤)的成分。這一過程的方向與該地面從前一階段承襲下來的特點有著密切的聯繫。草原復域本身的進一步形成過程已經是在植被的強烈影響下進行，這時的植被雖然能促進水分-熱量狀況的局部變化，但與制約於氣候狀況、地表性質和母質成分的水分和鹽分移動過程總是處於複雜的相互作用之中。

然而，植被導致土壤分異的這種作用只應該看作是古沖積平原上土壤形成總歷史中的一個階段。在這一階段，生物因素作用的更一般的和更特徵的方向是它對於土壤在脫鹽、脫鹼等方面的直接的積極的影響，同時最後結果使地域轉變為地帶性土壤占優勢的、相當一致的地域。

我們已一般地分析了各種土壤形成因素的相互作用，並以干旱草原地帶沖積平原土壤的形成為例，特別討論了生物因素的作用。類似的，但階段的順序有某些改變(沒有草甸-草原階段)的土壤發育途徑也為荒漠地帶所固有(Ковда, 1954)。

我們從 Т. И. 波波夫(Попов)和其它研究者所描述的森林草原地帶排水不良的平原上的土壤發育過程中，也可看到大致如此

1) 早在 И. М. 克拉謝寧尼科夫(Крашенинников, 1922)就描寫了土壤-植被在草原河谷的這一形成過程。

的,土壤形成因素和条件作用的更替的总图景。

在四十多年以前发表的 T. И. 波波夫的一篇优秀著作中也順便提出了这样的意見：“由于洼地土壤的逐漸变化,它們的植被也发生变化,同时,在草甸型式和沼泽型式之中,出現了灌木柳和,最后,山楊在其中定居的可能性。仅仅从这时起,无机界因素的优势作用才退居第二位,而植被則开始起着主要的作用,它改变周围环境(小气候和土壤),引起本身的变化,并导致洼地向山楊灌丛阶段演化”(Попов, 1914;171)。

总之,上述例子使人信服:生物因素在土壤性质和结构的形成中和在土被空間变异中的作用是在与其它土壤形成因素相互作用的过程中不断变化的。这一因素对土壤形成过程的作用性质本身也发生变化。当然,在象植物和其它有机体对土壤的作用的这样复杂而多方面的現象中,要区分出直接影响和間接影响是很困难的。但也不能不看到这一过程的不同特性,它的各个組成部分都能有时在較大,有时在較小的程度上起作用。在土壤形成过程的起初阶段,土壤发育的方向远不是永远取决于生物因素,而在以后,它的作为土壤形成过程中的主导因素的积极作用也可能在其它自然現象的压迫下而暂时削弱。

土被的最复杂的杂色性是它的复域性,在这种复域性的形成过程中具有决定性意义的是植被与其它創造暫时的,接近于这些或那些有机体类群生命活动的临界点条件的自然因素之間的复杂相互作用。在我們所举的例子中,它是在地形向着侵蝕基准降低这个总方向发展的情况下,原生土被形成的一定的和比較早期的阶段的特征。

根据我們的觀察,在苏联欧洲部分森林地帶的西北部和中央部分,象土壤斑点性这样的現象也与土被和成土母质的比較年青相联系。当地形向切割方向发育时,在較古地形发育和母岩风化較强烈的地区,这种現象就削弱。这是完全可以理解的,因为在这种条件下,植被一定逐漸地以自己的积极影响使土壤中因生物因素和母质的相互作用的局部特性而造成的个别性质的細小空間差

异趋于消灭。

因此，在土被的形成过程中，生物因素的作用既按本身内部的性质改变（也就是对土壤影响的不同方面），也按与其它土壤形成因素的相互作用的特性改变，而在某些条件下，一般的說，可能暂时退居次要地位。正是在这些时候，土被的杂色性可能变得特别明显。然而，这时植被通过小气候和土壤水分-热量状况的变化对复域形成过程的间接影响仍然可能十分重要。冻原地带复域的形成就是一个例子。在那里，各个苔藓和小灌木丛下面的热量状况显著不同于裸露斑点的热量状况，其结果，冻结不是同时发生，并且出现隆起的小丘。

最后，还應該简单地談談两个問題。

談到关于植物群落以一定方向强烈地改变它們与之处于相互作用的整个环境时，也就是談到我們称之为植物群聚对土壤形成过程的间接影响时，我們必須強調，許多群落能稳定地保持一定的土壤形成方向，甚至在其它某一个土壤形成因素，如同气候，发生变化的情况下也是如此。換句話說，在一定条件下在与周围地理环境长期相互作用的过程中而发育起来的某些植物群聚，好象具有抵抗在植被-土壤-母质綜合体内部已經确定的关系发生改变的能力。例如，俄罗斯平原闊叶林亚地带森林植被对土壤形成过程的影响就是这样。虽然在人类活动的强烈影响之下，现代的气候和水文地质条件已經不能促进森林在此亚地带的扩大分布和土壤灰化过程的发育，但在保存下来的大片森林地段，作为或多或少强烈灰化土壤的特征的生物循环和各种条件的整个綜合体还可稳固地保持。而在森林砍伐之后，正是在这些地方可能观察到特別鮮明的土壤改造現象。

当我们加里宁格勒州工作时，曾經在森林地带的西部观察到次生的，非常显著的土壤改造的类似过程，在那里，保存下来的森林地段出現具有很高的酸度的和未饱和的不厚聚积层的生草-强灰化土，但在并排的无林地段上的草甸植被下，同样母质上的土壤却是次生饱和的生草-潜育土，有灰化层的微弱残余和比較厚

的腐殖质。明显表现的土壤改造过程在这里是由于有利于森林植被和草甸草类的气候条件，当地水分状况的性质以及母质的成分。

問題在于，丰沛的大气降水和地形的微弱切割程度有助于在土层中較长期地保持引起土壤潜育化的自由水，而含丰富碳酸鈣侵入体的母质在适当的条件下能够刺激生草过程，并直接参加次生鈣饱和的有机-矿质综合体在土体組成中的形成。但在已形成的老林地段，所有这些現象都被占优势的灰化形成过程所抑制，而它們在草甸草本植被下的空曠地段則强烈地表現出来，引起显著表現的土壤次生变化(Завалишин, 1954; Завалишин и Надеждин, 1957)。

还應該补充一点，在泰加林地帶的中部或东部地区的无林的和改造成为草甸的地段，在大多数情况下沒有观察到森林灰化土的结构和性质的重大变化，只有在强烈含碳酸盐或石膏母质分布的某些地方，森林植被消灭后的空曠地段也能出現次生腐殖质碳酸盐土在灰化土地点的形成。位于中泰加亚地帶的阿尔汉格尔斯克州的若干从很久以前就为人知的农业区域，土被正是具有这样的性质¹⁾。

可見，植被的或多或少类似的变化在不同条件下，在土壤性质和结构变化方面得到完全不同的反映。有些植物群聚，例如暗針叶林，可以如此强烈地改变整个生活环境和对下垫母岩产生这样强烈的影响，以致象气候或成土母质和下垫岩石这些其它因素的变化在一定程度上几乎完全被掩盖了。

主要土壤过程和土壤剖面

土壤形成过程的条件和因素的研究只是土壤研究的一个方面。另一个方面是仔細分析土壤本身的性质和结构。这种分析是

1) 关于阿尔汉格尔斯克州碳酸盐母质上灰化土的次生改造过程是 A. A. 汉图列夫(Хантулев)告訴我們的，他研究和觀察过該州某些地区的土被。

从土壤剖面的描述开始¹⁾。

土壤剖面可以看作是土壤发育的年鑑，但必須学会閱讀这部年鑑，即正确地解释土壤的这些或那些特征，确定它們在一定自然因素的影响下的形成历史和机制。

根据一个土壤剖面的研究，要揭露这种或那种土壤发育的全部复杂历史和确定它的所有性质对一切土壤形成因素（在它們的整个作用时期）的依賴关系，那是永远办不到的。为此，必須研究許多土壤剖面，并且查明，土壤的这些或那些特征的变化是由于哪些自然現象引起的和如何变化的。因此，土壤学家为了解释某一种土壤的发生学特性，常常需要研究一系列的，經常是离該种土壤很远的不同土壤，这是不足奇怪的。但是，知道了土壤形成过程的一般規律和詳細地研究了土壤的各种特征，将它們互相进行对比，就是根据每一个土壤剖面的分析，也可作出許多重要結論。

当然，土壤形成因素对当地一定土壤性质的作用特点研究得愈好，那么这种分析将愈有成效。就是說，必須将每一个土壤剖面的结构和性质的深入研究与反映土壤形成因素的多种多样变型的許多剖面的土壤结构和性质变化的对比結合起来。但是，就是这点，对于揭露土壤形成过程的全部地方性特征还是不够的。

对土壤各种性质在不同時間的变化进行觀察，同时严格考虑植被各个成分的生长、发育和衰亡的动态、微生物的活动、溫度和气体状况、水分的收入和支出，那么对土壤形成過程的認識可以提供許多有价值的資料。目前，正广泛地开展着在土壤性质和结构比較一致的一定地段上的，包括土层中物质运动和轉化的昼夜循环、季节循环和各年間循环（土壤状况）的这样的觀測，其結果是愈来愈加深了我們的关于土壤生产力的概念，并揭露了土壤与植被的相互作用的各个方面。但必須考虑到，这种性质的定位觀察所能揭露的仅仅是現代土壤形成过程的情况，而不能揭露該土壤形成的全部历史，因为土壤的某些性质可能是在自然条件的結合情

1) 我們在此不准备引述土壤剖面描述的例子，也不討論土壤形态特征的鑑定，因为所有这些在任何一本土壤学教科书中都可以找到。

况与目前所观察到的很不相同的时候承袭下来的。

此外，在一个不大地段的观察所得出的全部結論可能只对于該地段具有意义，因为它們所代表的只是一定的自然因素結合下的土壤形成过程。因此，如果只有定位觀察一种方法，不管它多么全面地联系天气的节律和植物及一切土壤大型生物和微生物的生活来揭露土壤性质的动态，但却不能闡明当地土壤-植被綜合体发育的全部历史。它还要求对土壤剖面进行补充分析和用比較-地理法来研究土被。

研究土壤剖面时，首先必須确定以其总体組成土壤形成过程的那些基本的、最重要的和最普遍的現象。土壤形成过程的这种分析(把它分为若干基本組成部分)是了解土壤发育历史的很重要的方法。沒有它，就不能确定土壤与这些或那些土壤形成因素、首先是与植被的相互联系。

我們應該将下列現象列入土壤形成过程的基本組成部分，它們之中每一个在一定程度上都是导致形成一定剖面的独立过程。

1. 有机物质、有机-矿物化合物和矿物化合物形式的化合态氮和灰分元素的生物积聚。

2. 变质，即母质矿物結構的改組。有些作者 (Герасимов, 1950; Розанов, 1951) 把这一过程叫作“粘化現象”(оглинивание)，这是根据下列原因：其結果能在土壤中积聚高度分散的加入粘土組成中的无机化合物。但是，我們认为这样的概括是不正确的，因为这些或那些矿物原始构造的全部破坏也属于該現象的范畴。

3. 土壤形成过程产物的搬运或轉移(最常在水环境中)，其結果是使土体的这些或那些成分在土壤剖面的这一或那一部分流失或积聚；这一現象可以称为残积-淀积过程 (элювиально-иллювиальный процесс)。

土壤形成过程的这三个基本类别的每一个都是一些或多或少单一的物质轉化和移动过程的复杂总合。例如，生物积聚一方面包括生活有机体(主要是植物)堆积有机物质和大气中的氮化物以及以或多或少分散状态处于母质层中的化学元素，另一方面包括

导致形成新的、或多或少稳定的原始有机物轉化产物的死亡动植物残体的分解。后者通常伴随着有机体从周围环境中所吸收的物质的某些部分的損失。

不难理解,就有机物质和有机-矿物质的堆积强度与它們的分解速度及分解过程本身性质的結合情况而言,就堆积过程的其它特性(堆积物质的成分,它們进入土壤的性质等等)而言,生物积聚可以表現为不同形式。例如,黑土中堆积层的形成可以看作是生物积聚的形式之一;在生草型土壤中这一过程則表現为另一种形式,而在灰化土中表現为第三种形式等等。

土壤形成过程的第二个大要素——母质矿物的变质,也就是通常不成功地以“风化作用”术语所概括的那些現象的总体,也是由土壤中无机化合物轉化的一系列比較简单的过程所組成。但对我们來說,現在重要的不是划分变质的各个阶段,而是区分作为土壤形成过程若干不同类型的特征的变质的形式。这些形式包括灰化过程、潜育化过程、粘化过程和紅壤化过程。

最后,在土壤形成过程产物的轉移方面也可看到不同現象总体的一系列情况,但就在这里对我们來說最重要的是指出两个主要的和在土壤形成过程中意义很不相同(虽然就理化性质而言常常也很相似)的形式:1)残积过程——土壤形成过程的流动性产物通过透过土壤的下降(或侧向)水流而流失,——通常伴随着淀积层的形成,也就是部分流失的物质沉积在土层的一定带;2)随上升水流由水溶液进入土壤的这些或那些物质的堆积。

必須指出,土层中这些或那些物质被下降水流带走或从上升水流中沉淀出来通常是存在于同一个土壤中,但出現在不同季节(例如,黑土中碳酸盐的淋溶和向上迁移,盐土中的盐漬化-脱盐化过程等等)。然而,重要的是要区分該土壤形成过程产物在土层中的轉移和从侧面进入的物质在土壤中的积聚——也就是从对该土壤而言占据着較高地形部位的周围母质和土壤带来的物质的积聚。在現象的最后一个类别中土壤的盐漬化和矿化(оруденение)这类过程具有最重要的意义。

上述土壤形成過程的每一个組成部分都在或大或小的程度上反映了全部土壤形成因素的作用。例如，不能設想，生物因素的作用局限于被我們称之为“生物积聚”的那种現象的总体。我們很清楚，不論在母質矿物的变质方面或在不同物质在土壤中集中和从土壤中淋溶方面，能够根本改变水溶液的理化性质和土壤空气成分的植被和土壤微生物起着很重要的作用。

母質的性质，或者气候状况也完全是这样，它們在一定类别的土壤形成过程中得到了最大的反映，并在这种或那种程度上参加所有土壤特征的形成。

可見，主要在過程的一定組成部分中表現出自己的作用的每一个因素，同时对作为整体的土壤形成過程产生影响。

上述三种基本過程——生物积聚，母質矿物的变质和土层中物质的轉移——是任何土壤形成過程的組成部分，也就是說，在地表每一个地点都在进行。但在不同地点，这些過程可能具有不同的发育程度和彼此处于不同的相互关系中。同时，作为在自己的起源上是完全独立的自然現象的每一个这些組成部分，形成自己的特殊剖面。然而，在这种情况下倾向于这种或那种特殊剖面的形成的各种過程彼此相互作用，其結果形成一定的完整土壤剖面。

談到上述三类土壤形成過程的基本組成部分之間在不同地点的不同对比关系时，我們完全不能肯定地說，所有这些現象在土壤形成的每一种具体情况下彼此完全沒有联系。相反，我們必須強調指出它們之間存在一定的联系，这种联系不永远是直接的，而常常是十分复杂的，这些或那些現象的发育程度可以有較大的变化。这种联系的形成，一方面是由于：上述每一个土壤形成因素的作用不是在某一个，而是在土壤形成過程的所有組成部分中表現出来；另一方面，是由于各种土壤形成因素的相互制約性。前面已經說过，后者是归結于把或多或少有限數目的一定自然綜合体孤立出来，这些綜合体容許土壤形成因素的作用在或多或少狭窄范围内的变化。因此，在土壤形成過程中也可以区分出比較少數的，以單元過程的完全一定的組合为特征的基本类型（如大家所知，H. M.

西比爾采夫稱它們為“土壤發生類型”）。

但是，首先，所有這些土壤形成過程類型以在空間上的逐漸過渡彼此相聯繫，其次，它們可能隨時間而變化。這時候，在單元過程的組合中應該產生一些能夠改變土壤性質和結構的或多或少重大的變動。

這就是為什麼在研究土壤時，必須設法根據主要制約於一定因素的、引起土壤特徵的過程的性質，區分土壤的這些特徵，同時在開始時個別地研究它們，然後將它們互相比較。這適用於土壤剖面研究的研究原則是 B. B. 波雷諾夫（Полынов, 1929）提出的，他寫道：“土壤形成過程可以由若干個或多或少彼此獨立的，但永遠有着一定相互作用的過程組成。每一個這些過程都可引起一些獨特層次的形成，而且，由一個過程所引起的層次可能與因另一過程而出現的層次不相吻合”。又說：“土壤剖面可能是兩個或兩個以上個別過程的剖面的複雜總體。在土壤層次中也可能有因兩種不同過程的相互作用的結果而形成的層次。土壤形成過程的這些複雜形式的研究在於把它們的總剖面分為若干組成剖面，並查明它們在現代的土壤形成過程條件下和在該土壤剖面歷史發育過程中的相互聯繫”（Полынов, 1930）。

因此，在研究土壤剖面時，第一，必須確定它的發育的階段，也就是確定它分為若干層次的程度，第二，必須把土壤剖面分為若干制約於前述三類土壤形成過程組成部分的發育的單元剖面。在這種情況下，必須遵照下列情況：土壤形成過程的基本類別，當作用於作為整體的剖面的形成時，都在完全一定的層次中找到主要的反映。例如，生物積聚首先是導致土壤的腐殖質-堆積層的形成。這些土層在所積聚的該過程產物的成分和性質方面都可能具有不同的性質，它們也可能具有不同的厚度和不同的結構，最後，它們可能與其它單元剖面的層次結合在一起。在土壤學中這些層次用拉丁字母 A 标記。

母質礦物的變質作用通常在所謂變質層的形成過程中得到最完全的反映，變質層可能具有非常不同的成分和性質。制約於母

质矿物轉化的方式、不同方向和不同程度的不同型式的变质层,通常与残积-淀积剖面的层次結合在一起;此外,至少有一部分变质层通常与腐殖质-堆积层結合着。在土壤学中,这些层次的字母符号还未最后确定。不能不承认,通用的符号不是合理的。例如,灰化层用符号 A_2 标記,虽然按照它的性质它并不是堆积层 A_1 的变异,而是它的对立物。只有潜育层有特殊符号——G,但变质的粘化层和紅壤层却没有自己的符号,而是用拉丁字母 B 标記,也就是說与淀积层的符号一样。

最后,残积-淀积过程剖面的特点是具有土壤的这些或那些流动部分的流失层和淀积层。通常,这些层次与前两个剖面的层次,特別是与第二个剖面的层次結合一起。

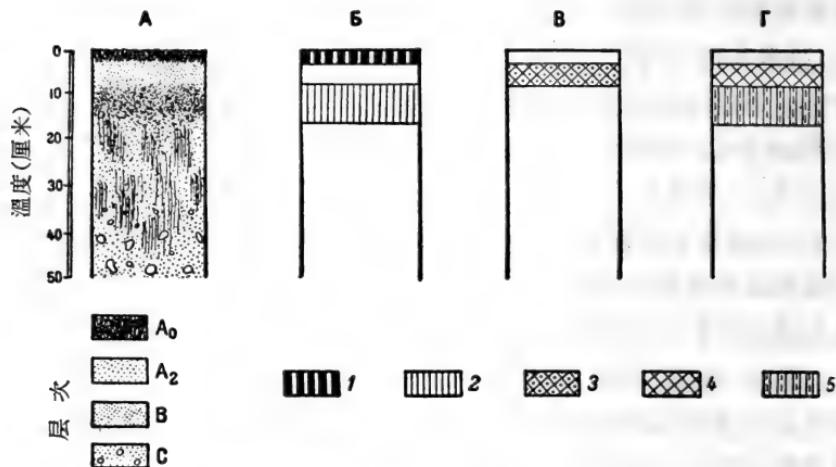
残积层通常用 A_2 标記,而淀积层用拉丁字母 B 标記。同时,淀积层在淀积物质的成分上,因而也在它的全部性质上,可能很不相同,它們以数字区分出相应的若干亚层, B_1, B_2, B_3 ,等等。

讓我們引用北泰加砂质灰壤剖面結構的图式和它的三个单元剖面各个层次的划分作为例子(見图)。

为了比較深入地分析每一个土壤剖面,当然,必須将土样进行实验室的研究。根据这种研究可以較詳細地区分与各个单元过程相联系的特征;例如,可以从土体成分中分出有机物质的各个組分,或按成因、成分和性质联合的有机物质类群(腐殖质、富里酸等等),或各个无机化合物(碳酸鈣和碳酸镁、游离的三氧化物、各种型式的氧化硅、磷的各种化合物等等)。

最后,除了把每一个土壤剖面划分为若干組成剖面,并且查明每一个过程的特征之外,同样很重要的是研究那些不能立即与某一种土壤形成过程的单元組成部分联系起来的特征,因为它們的产生是由于組成土壤形成过程的全部現象的相互作用的結果。属于这样的特征的有,例如:土壤水和土壤悬浮体的反应,被高度分散的土粒所吸收的阳离子或阴离子的組成,土壤胶体的吸收量等等。

所有这些性质在土壤的不同层次中照例是变化的。因此,为了分析土壤剖面,还必須用剖面曲綫描繪这些特征,因为应考虑



北泰加亚地带薄层沙质灰壤剖面结构图式。

卡累利阿自治共和国(原图)

A——剖面的一般外貌(完整剖面); B——生物积聚剖面; C——母质矿物变质剖面; D——残积-淀积过程剖面。1——未分解的植物残体的堆积; 2——根系残体的微弱堆积; 3——母质矿物部分的完全破坏; 4——流动性物质流失; 5——腐殖质物质和三氧化物的淀积。

到,每一个这些特征都具有自己的,作为該土壤特征的剖面。将这些曲綫的进程相互比較,就可以确定它們与其它土壤形成过程的相互依賴性和相互联系。必須估計到,在每一个个别层次中,象酸度、吸收盐基的組成和数量等等这样的性质,一般說来,是一系列不同过程的相互作用的結果,但在每一个个别层次中,它們可能主要是制約于某一单元过程的作用。例如,在土壤剖面最上部分的吸收盐基含量的曲綫可以表示盐基数量的增加,腐殖质含量的或多或少平行的增加。同时,同一层次的酸度曲綫也可以提供与中性反应相差的情况。这使我們有可能作出結論:該土壤剖面上部吸收盐基的积聚主要是制約于生物积聚过程,并与堆积层一致。但是,离土表較深的吸收盐基进程的曲綫則可能表示:吸收盐基的含量不但比剖面的最上部减少,而且比下垫的层次也减少。曲綫的这种差异可能与盐基的流失过程相联系,而这种过程与堆积层中盐基的生物积聚同时存在,或在积聚之先进行。

最后,同样的曲綫可以表示吸收盐基在淀积层的再次增加。

可見,同一特征在剖面上的变化說明了它对土壤形成过程的不同組成部分的依賴关系,从而,同一特征在土壤的不同层次中有时可能制約于这些,有时可能制約于另一些参加土壤形成过程的、占优势的影响。

(李 恒譯, 陈昌篤校)

参 考 文 献

Герасимов И. П. 1950. Коричневые почвы сухих лесов и кустарниковых лугостепей. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. XXX.

Докучаев В. В. 1899. К учению о зонах природы. СПб.

Завалишин А. А. 1954. К характеристику основных подтипов почв лесной зоны Европейской части СССР. Сб. работ Центр. муз. почвовед. АН СССР, вып. I.

Завалишин А. А. и Б. В. Надеждин. 1957. К изучению современного почвообразования на западе Русской равнины. Сб. работ Центр. муз. почвовед. АН СССР, вып. II.

Иванова Е. Н. и В. М. Фридлянд. 1954. Почвенные комплексы сухих степей и их эволюция. В сб. «Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР». Изд. АН СССР, М.—Л.

Ковда В. А. 1946. Происхождение и режим засоленных почв. Сельхозгиз, М.—Л.

Ковда В. А. 1954. Геохимия пустынь СССР. Изд. АН СССР, М.

Крашенинников И. М. 1922. Цикл развития растительности долин степных зон Евразии. Изв. Геогр. инст., вып. 3.

Неуструев С. С. 1930. Элементы географии почв. Сельхозгиз, М.—Л.

Полынов Б. Б. 1929. О генетических почвенных горизонтах. Бюлл. почвоведа, № 1—3.

Полынов Б. Б. 1930. Генетический анализ морфологии почвенного профиля. Тр. Почв. инст. АН СССР, вып. 3—4.

Попов Т. И. 1914. Происхождение и развитие осиновых кустов. Тр. Докучаевск. учен. почв. комит., вып. 2. Пгр.

Почвенная съемка. Руководство по полевым исследованиям и картированию почв. 1959. Изд. АН СССР, М.

Роде А. А. 1947. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. Географгиз, М.

Розанов А. Н. 1951. Сероземы Средней Азии. Изд. АН СССР, М.

Розмахов И. Г. 1940. К вопросу о возникновении и развитии солонцовых комплексов. Тр. Почв. инст. АН СССР, т. XXII, вып. 1.

Сибирцев Н. М. 1899. Почвоведение. Изд. 3-е. В: Избр. соч., т. I. 1951.
Сельхозгиз, М.

Фридлянд В. М. 1951. Опыт почвенно-географического разделения
горных систем СССР. Почвоведение, № 9.

地植物学研究时的野外土壤研究方法

T. A. 罗日諾娃 (Рожнова)

(苏联科学院土壤博物馆)

引言

在植被和土壤的比較-地理研究中, 通常采用考察或所謂路線調查方法, 这种方法提供确定土壤和植被的空間变化規律以及在不同地理环境条件下它們的相互联系的可能性。土壤学家和植物学家在这种考察中的协作能带来最好的效果, 但很遺憾, 在考察队中不是經常能实现这种性质的綜合。而且, 象土壤学家一样, 植物学家在自己的独立工作中深入地比較研究植被和土壤时常常要遇到困难。因此, 对地植物学工作时正确安排土壤研究的一些簡明方法指南可能是有益的。

野外工作的准备

土壤調查的成效在許多方面取决于出发前的仔細准备工作和对未来工作地域的預先了解。最初必須根据已經发表的和有时还是手稿的資料, 建立起关于被研究地方优势土类和亚类的概念, 关于該地方在这一或那一土壤地理地帶或省中的位置的概念, 关于母质和土壤的地方性埋藏条件和分布特点的概念。

除了文献資料外, 制图資料在这方面可能有很大的帮助, 它使我們有可能获得关于研究区域的地形, 地质, 水文地理和植被情况的概念。它們帮助我們了解土壤被复及其与自然-地理綜合体其它成分的联系, 同时根据这些拟訂出野外工作的总計劃和工作量。

当然,工作安排在頗大程度上取决于提出的任务和研究的規模,因此,必須选择这些或那些專門性的資料以及这种或那种比例尺的地形图。

研究地区的开垦程度和居民密度以及与此相联系的各种交通工具和步行的通行程度对工作的进行永远有很重要的意义。这种或那种調查規模的选择通常与此有关。

地形图是进行土壤地理工作的基础,它是預先研究該地域的主要資料来源。地方的地势,或者說地形是了解土被发育一般規律的第一个关键。根据地形图研究地表,可以查明一定地表范围內的或多或少一致的地形部位的存在情况,甚至可以事先假定当地一些預料土壤的相应輪廓。繪出明显崎岖不平的地形的地图是最易閱讀的图。預先熟悉了这个地域的地形,就有可能在图上划分出高起的分水脊或高原、其周围坡地以及最后,各种性质的低洼地的地段或整个区。在这种情况下,应設法确定的不仅是河谷、干沟和冲沟的方向和形状,而且还有在图上表示出的沼泽或盐土在这些或那些地形部位上的位置。重要的还有:研究沼泽的平面形状,如果底图的情况允許,确定森林、农地和居民点在地形部位上的分布。如果很好地研究和清楚了地图,根据它来安排路綫就不致有很大困难,因为土被的更替,通常适应于大、小地形不同部位的更替,而地形部位在地图的等高綫上能清楚地反应出来。應該記住,一个地方的地质构造常常是随地形性质——切割程度、斜坡陡度、冲沟-沼泽网的平面輪廓等等——的变化而不同的,而地质构造可能就是成土母质的成分和土壤水分-热量状况更替的原因。

但是,地形变化远不是永远与成土母质的更替相配合。地形形态和部位与母质成分和土壤水分状况的关系可能非常千变万化(图 1—3)。比較年青的湖成平原和冲积平原的地表結構往往十分复杂。在苏联欧洲部分的北部和中部,这样的平原地域特別广泛地发育。在俄罗斯平原的草原区以及干旱草原和荒漠草原,在地质結構比較一致的情况下,平原上土被的不一致是較多地与微地

形相联系。这些平原上的土壤制图是一个很大的困难，因为制约着土壤差异性的微地形就是在大比例尺地形图上也不能反映出来。

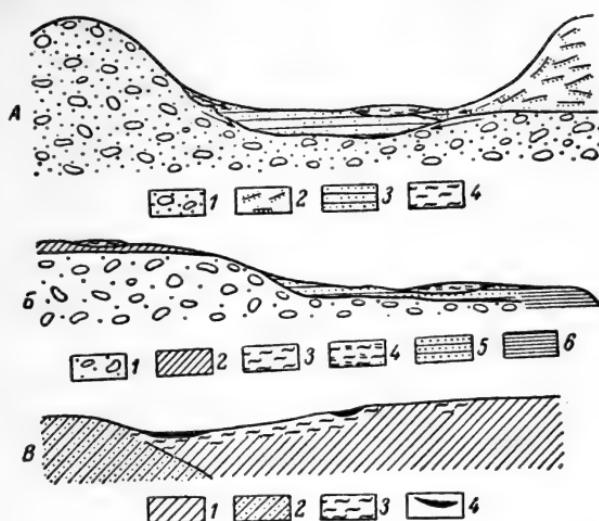


图 1 成土母质和下垫岩石结构示意图。(原图)

A——在显著起伏不平的地形条件下：1——漂砾砂壤，2——具卵石夹层的斜层砂质沉积，3——没有漂砾的层状壤土，4——过渡沼泽，箭头——土壤-土质水的方向；B——在缓斜坡上：1——漂砾壤土，2——复盖壤土，3——高位沼泽，4——过渡沼泽，5——没有漂砾的层状壤土，6——层状冲积沉积；B——在平原上：1——粘土成分的黄土状沉积，2——壤土成分的黄土状沉积，3——古代冲积湖相沉积，4——泥炭。

如果有这些地点的航空摄影材料，就可大大简化预先了解土壤的过程。它们对具有土壤复域的为自然植被所复盖的地域特别有价值，这些自然植被实际上是土被的主要指示体，而且明晰地记录在航空摄影平面图上。

研究了当地文献资料和图件之后，就编写土类和亚类的初步一览表，根据地图规定野外考察的基本路线。路线的数目取决于研究的规模和面积，但规定路线方向的主要原则是，使调查路线横穿划分出的地表地形要素(河谷阶地，分水界，长丘，洼地等等)的一切主要断面，以后就在这些要素的范围内布置土壤剖面(图 4)。如

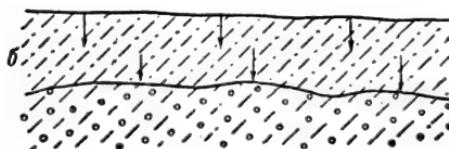
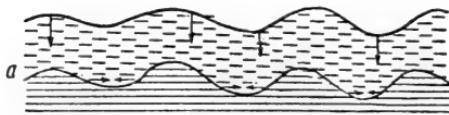
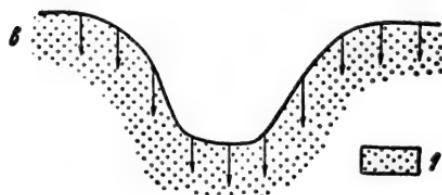
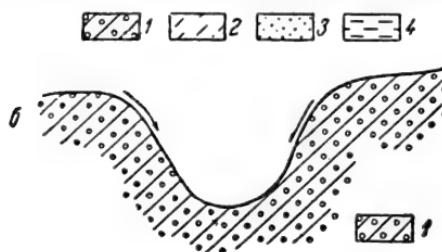
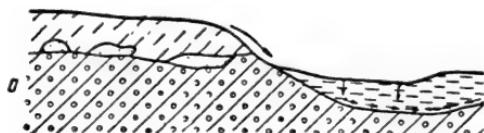


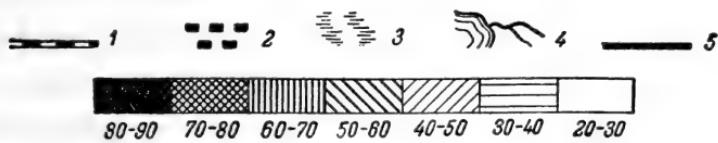
图 2 (图 1 中 A、B 的补充)。
(原图)

a——由深切割地形向平原过渡在母质多成分结构情况下土壤-土质水局部积聚的形成: 1—重壤土, 2—轻壤土, 3—砂, 4—壤土;
b——在重母质(壤土)结构一致的情况下加强了的地表逕流: 1—重壤土, b—在轻松母质(砂)结构一致的情况下, 土内逕流占优势: 1—砂, 箭头—水流动的方向。

图 3 (图 1 中 B 的补充)(原图)

a——地表逕流和土内逕流减弱的以及在微洼地形成停滞水的母质的二成分结构: 1—轻壤土, 2—粘土;
b——在被具有减弱的地表逕流和土内逕流的母质所下垫的平坦地形条件下的母质二成分结构: 1—砂壤, 2—壤土, 箭头—水的流动方向。

果作大比例尺测量, 通常要规定一系列平行而比较靠近的步行方向; 如果在广阔地域内作小比例尺测量, 则采取个别长路线和长路线之间的短途较详细调查相结合的方法。当地的开垦程度和通行情况对路线方向的选择和调查的进行也有很重要的意义。在某些情况下, 不能不事先规定进行或多或少详细调查的地段, 它们彼此之间仅以个别路线联系起来, 因为主要地域实际上是不能通行的。



高度(米)

图 4 在地图上設計野外土壤調查路線的例子 (原图)

1—铁路；2—村庄；3—沼泽；4—湖泊和河流；5—路線方向。

野外土壤調查的任务和若干方法

在野外工作过程中,要詳細地描述选定的研究点的剖面結構,确定一定土种的分布界限,查明它們与植被、地形和成土母质的关系的主要規律性。在这种情况下野外調查方法的基础是查明土壤形成条件的整个綜合体以及对土壤和植被的組成和性质的变化产

生最大影响的各个因素的作用。

如大家所知，描述人工剖面中的土壤形态剖面是野外土壤調查的基本方法。在每一个个别情况下，选择地点时应该仔细考虑周围的自然条件和反映所研究的地形要素、成土母质和植被的最典型的特点。在地植物学調查中，土壤的研究通常是集中在一定植物群聚的范围内，但就是在群聚的轮廓内，它也要根据地表的一致性、相同的微地形、植被的典型性和尽可能排除邻近群系对该植被的影响的条件决定；不应在树干附近挖剖面，因为在树木周围，土壤上层结构的性质已发生变化（Зонн, 1957）。所以，在地形经常变化的情况下，最好是在形成显域地境植被和土壤的条件下，在分水界、高阶地、壠崗顶部等地开始布置剖面。

基本剖面的深度应包括土壤剖面的全部层次和露出成土母质，而在母质二成分（或多成分）结构的情况下，还要挖到下垫的冲积物；在不同条件下，土壤剖面的深度可能变化很大，但在正常土壤结构的情况下剖面的平均深度应该是1.2米至2.0米。土层愈厚，土壤剖面的深度应愈大。在温带森林草原地带的平原上，土层的厚度通常达到最大。在潮湿的亚热带和热带地区，土层厚度可能还要大。在排水不良的地面，剖面深度常常是限于潜水面的位置。在草原地区和荒漠地区恐怕有土壤盐渍化现象的地段，必须挖很深的剖面（深达3—3.5米）。在山地条件下，剖面深度可能较小，因为它在这里是取决于基岩的埋藏深度。

深的剖面说明植被的所有基本要素的性质，而它们的数量和分布直接取决于地形形态的多样性、取决于植被和母质成分的变化。除基本剖面外，还应补充一些较小的半剖面或对照剖面，这是鉴定各个土壤变种或在个别情况下检查和订正主要土种之间的界线时所必须的。

下面谈一下与研究土壤形成过程的特性有关的某些工作方法。

在不断变化的自然情况下，如所周知，土壤的改造比植被的变化可能要迟缓得多。在这种情况下土壤可能长期保存其过去发育

历史的最稳定的残遗特征¹⁾。由于这个原因，在许多情况下，必须详细地对比土壤轮廓和植物轮廓的界线，因为它们不可能是永远吻合的。例如，在泰加林区域，针叶林的砍伐、经常的火灾、土壤改良或土地整理的工作引起原生植物群系的比较迅速的改变；在它们的地点出现了次生的小叶林，草本采伐迹地，沼泽化的或旱地的草甸，但是，在它们覆盖下的土壤却还长时间保持着原来的灰化土的外貌。在这些地方，确定土壤界线和植物群落界线的工作应该特别仔细地进行。

植物群落组成的改变必然引起土壤中新的质的特征的产生。为了正确理解土壤的进一步的演化和它们与植被的相互关系，必须阐明这些特征。因此，很重要的是，试图比较研究布置在或多或少一致的地形和母质条件中的、但在不同植被下（例如在森林下和在草甸下）的平行土壤剖面中的土壤。在这种情况下，如果其它土壤形成条件相同，成对剖面的比较描述使我们得以最肯定地判断植被直接影响土壤的性质，和在它的剖面中看出：表现在各个发生层次厚度的变化上的，表现在潜育化、碱化或盐化、有机物质的积聚或分解等等上的新的特性，并可将这些特征与土层中根系的分布、草群的组成和结构进行对比。在研究不同农业技术和土壤改良措施对土壤的影响时，以及在阐明各个不断变化的土壤形成过程的条件（成土母质成分、潜水水位的变化等等）的作用时，都可用类似的方法选择剖面。这样，还在野外条件下就应该形成关于土壤发生及其与不同植物群聚相互作用的性质的清楚概念。

作出关于在植被演替情况下出现这些或那些土壤次生特征的结论以前，应该试图阐明在基本的、完全形成的植物群落下面地形和母质成分不改变的情况下土壤的各个性质的永恒性或变异性。

在地形、成土母质经常变化，而由于这个原因地表湿润状况也发生更替（例如在高地的斜坡或陡坎上和从高地向低地的过渡地方，那里土壤—土质水发生尖灭）的条件下，研究崎岖不平地方的土壤时，要解决所有这些相互联系的过程就比较复杂。这里在地

1) 参阅本卷中 A. A. 查瓦里申的文章（第 247 页）。

表的不同地段，必須分清土壤形成条件綜合体的性质和这一或另一因素对土壤过程影响的程度。为了查明土壤形成过程在这些区域的主要特点，通常要揭露典型的景观，在它们的范围内规定剖面，沿着这个剖面线，在从分水界到洼地的所有依次更替的地形部位上，在不同植被下布置土壤剖面。这样，通过每一个剖面线上土壤性质和特征的比較研究，使我們有可能追溯出作为当地特征的植被和土被的更替，并把它们与一定的土壤形成条件联系起来。

对泰加景观來說，借助于这一方法，可以确定与森林群系、地形条件、成土母质和水分状况的一定更替相适应的灰化土、沼泽化土和沼泽土的不同变种的一些典型系列。与此同时，在这里也可以阐明地面沼泽化或排水、土壤铁化和矿化、土壤的次生盐基饱和現象、有机物质的积聚等等过程发育的一般規律。

在平原的阶地化的地面上或河流阶地上，用剖面法可以研究草甸土、沼泽化土或沼泽土的发育特性，調查它们的湿度和盐渍化的条件，并且确定这些条件与潜水埋藏深度及植被性质的联系。将土壤的特征与它们的分布条件对比，在許多情况下，使我們有可能就地解决一些与新的草甸或可耕土地的开垦有关的实际問題，甚至可以制訂一些关于調节水分状况、脱碱、脱盐或其它土壤的质的改造的措施。

如果在平原或阶地面上有微地形的发育，并且出現了具有不同土类或亚类的小块斑点相互交替的土被复域性时，那么，野外工作方法就要不同了。在这些情况下，研究者的注意力應該集中于詳細研究各个土壤成分，以便查明联系微地形要素和植被的它们的分布規律。在每一个复域范围内，在所有微地表要素上：在浅洼地、碟形地、小凹地、在它们之間的微弱凸起的高地上都要布置剖面。研究土壤复域时，建議进行很詳細的土壤測量，編制2—3个不大地段的土壤平面图，可以在每一个这些地段范围内計算每个土壤成分所占面积的百分数。最好还借助于横切接触线的长形土坑研究相邻微复域成分之間的接触。

在研究任一地方的土被时，在进行有計劃的土壤測量之前，預

先繞行研究地域，在分布最广的和从地植物学观点看来最重要的各种植物群落下的不同地点設置几个土壤剖面，那是非常有益的。这样的初步調查可以揭露該区自然特征的一般图景，根据它可以规划进一步的考察工作。

土壤形态剖面的研究

在正确分析周围自然条件时，土壤剖面的形态鑑定对确定土壤的发生具有重要的意义。

剖面的描述是在記錄本中按照在現有野外土壤調查規范和手册中所普遍采用的固定形式进行。“附录 I”¹⁾就是这种記錄形式的例子。

研究土壤剖面时，必須遵守一定的工作順序。为了描述剖面通常是利用土坑中一个最深的、有很好的光照的和平整的壁，根据这个壁研究土壤剖面的結構，划出发生层次的界綫和詳細描述每一层中土体的性质。在記錄本中分別記載能強調說明土壤特性的某些土壤特征，例如：不平常的厚度或各个层次的表現程度，不同的新生体等等。概略地描画土壤剖面，用符号标出各层的发生学指标及厚度。

依土壤剖面的結構和性质的复杂程度为轉移，基本的发生层次——A, B, C(腐殖质-堆积层，淀积层，母质)——可以再分为若干层和亚层，并用下列通用符号标出²⁾。

1) 地植物学調查时采用的植被詳細記載是在特殊的記錄簿中，在同样的編号下进行。

2) A. H. 索科洛夫斯基 (Соколовский, 1956) 提出了一个以指标的发生学根据为基础的新的土层命名系統。每一层用說明該层中占优势过程的实质的术语的第一个字母标记。据此，H (humus) 代表生草层或腐殖质层，E (eluo)——灰化层或残积层，I (illuo)——淀积层，K——碳酸盐层，G1——潜育层，T——泥炭层，H°——森林残落物层，P(petre—石头)——母质，等等。在用数字补充这些符号时提供关于各层厚度的概念，这样，每一个土类都获得自己的公式。例如，黑土的公式是 $H_{50} HP_{60} K_{50} P$ ，灰化土的公式—— $EH_{14} E_{14} EI_{40} I_{45} P$ 。然而應該指出，这一命名系統还未得到普遍采用。

A₀, A₁ 或 A_r——各种形式的生物堆积层：残落物层，生草层，泥炭层；

A₂——灰化层或脱砾层；

B——变质或淀积层，分为下列亚层：Bh——淀积-腐殖质亚层，Bf——铁质化亚层，Bc——碳酸盐亚层，Bm——粘土变质亚层；

G——潜育层；

g——弱潜育(глееватый)层(斑点层)；

O 或 of——超潜育层，氧化层或铁质新生体层；

C——疏松母质层；

D——石质母质层。

除这些独立的发生层次外，还可划分出它们的过渡层次：A₀/A₁, A₁/A₂, A₂/B₁, B/C, B/G, 等等。

在野外调查的过程中，应特别注意研究 A₀ 层，也就是土壤的植物残落物层，或所谓死地被物，要考虑到，大多数生物土壤过程都与它有关。残落物层是腐殖质形成或泥炭积聚的泉源，而植物残体分解的速度和性质在一定程度上控制土壤中灰分元素的流失和堆积过程。因此，尽可能在植物残落物层中分出并研究具不同矿化程度的有机物残体的层次，它们的相应符号是 A₀^I, A₀^{II}, A₀^{III}。例如，在植物残体积聚大大超过其分解过程的泰加苔藓地被层中首先就应进行这样的划分。

还要特别注意的是土壤中的植物根系，根在土壤剖面中分布的深度和性质，并且查明根系聚集最多的带(根饱和)。为了详细研究根，根据现有方法借助于洗去土壤和进行称重(Качинский, 1925; Шалыт, 1950 等)，按各层次进行根的数量计算。

然而在野外条件下，可以通过定性反应来测定土壤的某些化学性质。例如，在森林草原、草原和荒漠区域中以及碳酸盐冰碛物的分布区，可用10%的盐酸测定土壤中的碳酸钙，分层确定不同程度的泡沫反应。

在研究盐渍化土壤时，就要测定土壤中最普遍的水溶性盐

类——氯化物、硫酸盐、苏打的存在情况。为此，在野外必須有蒸馏水， KNO_3 (10—15%)溶液，一套准备土壤提取液的試管，以及試剂—— AgNO_3 (測氯化物用)， BaCl_2 (測硫酸盐用)和酚酞酒精溶液(測定普通苏打用)。在測定氯化物和硫酸盐时，應該确定不仅是它們的存在，而且也應該按試管中沉淀物的数值确定它們的相对数量。

在北方緯度的过度湿润的土壤中，就地測定氧化亚鐵非常重要。在稀盐酸的提取液中，用紅血盐試剂进行化驗。

在野外条件下初步測定土壤的 pH 值 也同样重要。在这种情况下，最常用的仪器是“通用指示器”。它由一套試管、吸移管，盛 KCl 标准溶液和蒸馏水的玻璃瓶和 pH 值 3.0 至 8.0 的普通試剂(指示剂)組成。这个仪器上有着色的标度，根据它，可以比較着色的土壤水提取液和盐类提取液，并确定 pH 值。为了在野外比較准确地測定 pH 值，可采用著名的阿里亚莫夫斯基測定仪(Домрачева, 1939; Аринушкина, 1952)。

野外土壤調查的結果，非常重要的是查明最密切地联系植被的发育和性质的那些主要土壤特性。在这种情况下 植物 残落物(死地被物)分解的性质、土壤中有机物质的組成和分布、比率、各层的机械組成和湿度、土壤盐基的淋溶程度，或相反，土壤盐漬化的程度和性质、潜水的水位和状况、成土母质的結構和成分具有重大的意义。所有这些性质大都以一系列具体的形态特征(以潜育斑点和潜育层，泥炭化或腐殖质化残落物层的形成，盐霜等等形式)反映在土壤剖面中，但远不是所有这些性质都能在野外进行研究，为了搞清楚它們，还得进行室內的土壤分析。

为了对土壤进行比較詳細的實驗室研究，应从最下层开始，在各个土层中采取土样。如果有潜水存在，就要指出它的水位，在必需进行分析时，还要采取水样。在剖面中必須这样采取土样，使得它們反映出土层中所有各种性质和現象的順序性以及它們在每层界綫上的表現程度。依研究任务和詳細程度而定，或在每个土层中按层取土样，或沿垂直柱从剖面底部到土壤表面一个接一个連

續采取土样。各个土样样品的重量不能少于300克，而垂直高度不能超过5—10厘米。土样应装在专门的由结实的布制成的口袋中，或至少装在结实的和坚固的纸中。土样中要放入标签，标签上写明地理地点、土坑号码、土层、取样深度和采集日期。潮湿样品必须使它干燥到风干状态。

为了定量地测定土壤中有机物质、氮以及各种矿物元素和灰分元素的贮藏量，应该用专门的量筒从同样的土层中采取补充样品，然后在干燥之后，测定它们的容重；为此目的，还要采集一定量的死地被物，在地面测量样方内收集活的植被。

最好在野外用彩色铅笔描绘出土壤剖面的概略图。

剖面的形态研究结束时，提出土壤的野外命名。定名应包含土壤的简要发生性质的鉴定，即对这一或那一土类、亚类或土种的属性，并反映出土壤的结构、机械组成以及成土母质的性质和成分的主要特性（例如，带状粘土上的泥炭-强灰化潜育化重壤质土，黄土型壤土上的弱灰化粉砂-壤质灰色森林土，等等）。

这样，在每一个发生学亚类中可以分出各种不同的土属和土种。但应指出，均一母质上的不同土种主要是反映该土壤的发生学亚类范围内的土壤形成过程的数量变化。表示这种数量变化的有，例如：在不同程度潜育化壤质土中的生草-弱灰化土种，生草-中灰化土种，生草-强灰化土种。但随着母质机械组成的变化，这些土壤的变种可能具有新的而且已经是质上的差别。例如，在砂性母质上，土壤中将出现淀积-腐殖质过程，同时，伴随有有机和无机物质从上层的流失和在下层的积聚（Bf层或Bh层）。在名称中必须考虑到土壤的这些特征，砂地在这种情况下可以分出生草-灰化淀积-铁质化土或淀积-铁质化-腐殖质土的系列。

在研究耕地，草甸或排水地域的土被时，除土壤的发生学鉴定外，还必须补充说明土壤耕作改造过程的特点的术语（生草-中灰化熟化土，排干的腐殖质-泥炭潜育土等等），在侵蚀过程发育的土壤中，应根据有无未受侵蚀破坏的土层，指出土壤的冲刷程度（Садовников, 1954）。

土壤图的編制和野外資料的整理

在野外土壤調查過程中，要在圖上以編號標出所有剖面和土坑的所在地點。

借助于對比類似的土壤剖面，然後，按照剖面位置、植被和地形等高線劃定土壤輪廓的界線，就可以在圖上分出土壤的地域單位。

土壤圖基本上是在野外編制，在圖上確定的各種土壤的分布界線不應再更改。在室內整理資料的過程中，由於最初定的土壤名稱有所修改，土壤的機械組成、灰化程度、碱化程度等有所訂正，某些輪廓可以取消或互相合併。

但是，野外編圖的完備性畢竟取決於研究的比例尺。如果是相當大的比例尺測量(1:25,000或更大)，務必就地確定所有土壤界線，因為土壤變化的許多重要細節並不永遠能從地圖的等高線上表示出來，只有在亲眼觀察的過程中才能確定它們，最常是根據植被的空間更替。特別是在具有土壤的雜色組合或複域的地區，在那裡，就是有詳細的地形底圖，測量工作常常也只限於確定具有不同的或重複的土壤複域的最大輪廓。在個別農場，沒有地形圖時，土壤制圖常常是利用土地規劃概略平面圖，但應強調指出，根據它們編制土壤圖有很大的誤差，因此，不應提倡。

如果用長路線調查法進行較小比例尺的調查時，必須在底圖上注出剖面點，並且首先劃定區分具有一致的土壤或顯明不同的土壤組合的地域的主要界線。它們的界線通常與清楚表現的地表面地形要素以及與它們相適應的同類型母質的界線相符合，這通常很好地反映在自然植被上。大的土壤輪廓界線的閉合工作不一定在野外進行，它可以在以後根據等高線和絕對高度來進行(用內插法)。但是，永遠應在圖上勾出一切立即可以區分的東西，例如沼澤、個別的高地、河谷等等的輪廓。

在這種比例尺範圍內，土壤的比較詳細的研究可以查明土壤

各个要素之間的过渡情况。在所有地形、成土母质的埋藏条件或成分的或多或少显著改变的界线上出現这种过渡。它們所反映的已經是次要的、較小的輪廓,这种輪廓具有分布不广但对該地常常很典型而且很重要的土壤变种。在这种情况下,这些輪廓的界綫与等高綫方向可能有很大的分歧,可能橫穿等高綫,因此,在野外工作中,就应把它們确定下来。

图上土被詳細化的程度永远取决于調查的比例尺。如果是小比例尺制图,通常只限于划分出不同的土类、亚类和土种;只有在更詳細得多的研究(1:10,000)中,才能作到进一步的划分。图上的所有土壤单位都应与植被单位協調一致,但它們的界綫却不可能永远完全吻合。

編制最后的土壤图,就應該拟訂土壤图例。拟图例的准备工作:除文献資料外,要直接在野外进行土壤的初步系統化。在描写土壤剖面的同时,建議在专门的划有表格的筆記本上对所有分出的土壤进行系統的統計,根据分类单位将它們归类,将这些单位与地形性质、植被、成土母质和当地絕對高度进行对比(見“附录Ⅱ”)。編制这样的工作記錄首先是便于野外工作过程本身,因为根据它,使有可能就地查明各个优势土种和土壤組合以及它們的形成条件,并且,可以把它們进行对比。

在整理这样的分类記錄时,应分出并且分別地描述当地分布最广的一切土种,它們就是以后土壤图例的基础。同时,在图上訂正和确定所有的土壤輪廓,并根据野外記錄的比較和土样的审查,詳細地检查按形态特征所分出的土壤单位。这样,在訂正如同土壤的潜育化程度,土壤厚度,机械組成等等时,就可能产生土壤的某些补充的重新归类。

在野外資料进行了这样的整理之后,最后編制出土壤图例。图例的最后形式應該是土壤形成过程各种类型的系統分类一覽表,这些类型可以再細分为相应的亚类、土种和变种、以及它們的組合,同时划分出耕作土和排灌土的各个发生类群。應該特別小心地对待土壤組合的划分,因为它們有很大的意义。表明这些組

合是必要的,因为根据一定的組合类型,可以更符合实际地反映一个地域的土被,同时,对了解土壤形成过程的一系列地方特点提供了一个线索。

在土壤图例中,也可以对土壤形成过程的主要伴随条件:地形,成土母质和植物群落作出简单的鑑定,写在图例的右边,与土壤(或它們的組合)名称相对。

建議分別地編制土壤和成土母质的机械組成的图例。划分母质时,应以它們的发生,其次是机械組成和結構作为基础。在土壤組成一致的情况下,也可以不特別把它表示出来,只用划分出在一定机械組成的母质上的土壤变种。但在一系列情况下(例如經常在苏联欧洲部分西北部的条件下),土壤在不同組成的二成分或甚至多成分的冲积物上形成,所以不能不給出土壤和下垫母质的粒級組成的划分。

最終的土壤图和图例要清繪在繪图紙上。在图上用一定的顏色表示土壤、成土母质的发生和机械組成用各种黑綫条表示。

正确地編制的土壤图應該不仅反映出土被分布的規律,而且也反映出一切主要土壤形成因素的分布規律;其中成土母质起着特別重要的作用。因此,在图上很重要的是反映母质和土壤的相互联系,也就是表示出一定土壤系列对一定母质类型的适应性。这样,土壤图就具有最高的表現力了。它通过土壤表达了整个地理条件綜合体的特点,并且是划分土壤-地貌地域单位的基础,而地植物区的全部基本輪廓應該与这些单位的界綫符合。

具有一系列土壤剖面的断面图式是对土壤图的一个重要补充,这种图式說明了研究地域的不同景观中土壤形成过程的特点,并把各个植物群落和土壤的相互联系詳細确定下来。断面用一定的比例尺繪制,图上可以反映出地方的地形、植被、成土母质和岩石的順序变化。而在概略示意图中(或用符号)表示出不同土种的发生学結構和更替(图 5)。

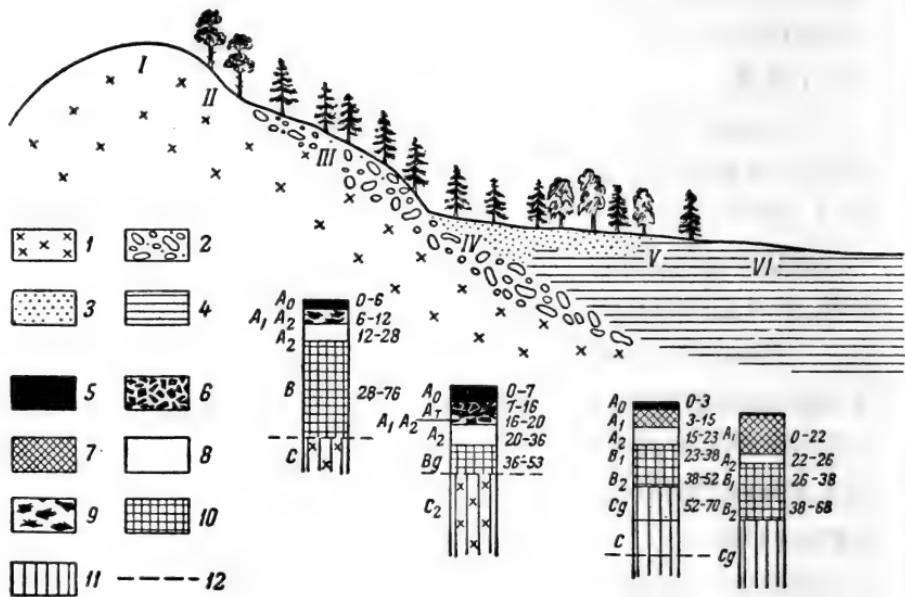


图 5 在森林地带西北部条件下土壤和植被变化的示意图(原图)
 I、II——在具有原始-堆积土壤的花岗岩露头上的地衣和藓类-地衣松林(II)中,由地衣群落和藓类群落(I)组成的岩石综合体;
 III——在泥炭化的、强灰化的铁质-腐殖质土壤上的欧洲越橘-真藓云杉林;
 IV——在泥炭-强灰化潜育土壤上的欧洲越橘-泥炭藓云杉林;
 V——在生草-中灰化潜育土壤上的云杉-樟树草类林;
 VI——在熟化生草-灰化潜育土壤上的草甸。1——结晶岩; 2——粗漂砾砂壤; 3——混有砾石和砂砾的沙土; 4——重层状壤土; 5——腐殖质层(A_0); 6——泥炭(A_1); 7——腐殖质层(A_2); 8——灰化层(A_2); 9——腐殖质-灰化层(A_1A_2); 10——淀积层(B); 11——母质(C); 墙坡上的结晶岩碎屑(\times),侵入在第四纪冲积物(C 和 C_2)中; 12——潜水位。

附录 I

土壤的野外描述格式¹⁾

1. 剖面№ 日期
2. 行政州, 区, 地点
3. 地理位置
4. 地形的一般描述
5. 大、中、微地形
6. 剖面在微地形上的位置和坡向
7. 植被 (组成, 密度, 高度, 年龄和生长状况)
8. 地面残落物的性质
9. 沼泽化、盐渍化的特征、新生体、侵入体及其它特征
10. 盐酸泡沫反应的深度和性质
11. 土壤-土质水位
12. 成土母质
13. 野外的土壤命名

发生层次	土壤剖面結構圖式	各层厚度 (厘米)	分层描述: 机械組成, 湿度, 顏色, 结构, 坚实度, 构造, 新生体, 侵入体, 潜育化, 硬化, 等等。	取样深度 (厘米)

土壤的最后鑑定

1) 根据在 C. B. 佐恩的著作中引用的格式, 略有修改。

附录 II

土壤野外系統統計时的記录实例

灰化土、亚类

行政 区	絕對高 度(米)	剖面 編號	地 形	成 土 母 质	植 被
弱灰化淀积-腐殖质-铁质土					
罗辛斯基区	40	952	湖泊-冰川阶地 的平坦地表	分选的細粒砂子	真藓-越橘-松林
罗辛斯基区	50	987	略有起伏的阶地	分选的粗砂壤	越橘-松林
罗辛斯基区	30	1100	湖滨緩斜阶地	中粒沙子	經透光伐的有稀 疏草被的越橘- 松林
泥炭化中灰化淀积-铁质-腐殖质土					
罗辛斯基区	90	921	平坦高原	致密漂砾沙壤上 的分选沙壤	有鬚草混生的真 藓-越橘云杉林
維 堡 区	80	365	壠 坡	下垫結晶岩的冰 碛砂壤	真藓-越橘云杉 林

(高梁、周建刚、李恒合譯, 陈昌篤校)

参 考 文 献

Аринушкина Е. В. 1952. Химический анализ почв и грунтов. Изд. Моск. гос. унив., М.

Благовидов Н. Л. 1954. Почвенная карта и ее использование. Сельхозгиз, М.—Л.

Герасимов И. П., Е. Н. Иванова и В. А. Носин. 1954. Задачи и методы крупномасштабного картирования почв в связи с учетом и качественной оценкой земельных ресурсов страны. Почвоведение, № 9.

Докучаев В. В. 1886. Главные моменты в истории оценки земель Европейской России, с классификацией русских почв. Отч. Нижегородск. губ. земству, вып. 1. СПб.

Домрачева Е. А. 1939. Физико-механический и химический анализ почвы. Сельхозгиз, М.

Завалишин А. А. 1954. К характеристике основных подтипов почв лесной зоны Европейской части СССР. Сб. работ Центр. музея почвовед. АН СССР, вып. 1.

Захаров С. А. 1930. Краткий курс практических занятий по почвоведению. Госиздат, М.—Л.

Зонн С. В. 1957. Краткие методические указания к изучению почв при лесотипологических исследованиях. В кн.: В. Н. Сукачев, С. В. Зонн и Г. П. Мотовилов. Метод. указ. к изуч. типов леса. Изд. АН СССР, М.

Качинский П. А. 1925. Корневая система растений в почвах подзолистого типа. Сельхозгиз, М.

Ковда В. А. 1946. Происхождение и режим засоленных почв. Изд. АН СССР, М.—Л.

Красюк А. А. 1931. Почвы и их исследование в поле. Госиздат, М.—Л.

Ливеровский Ю. А. 1957. Использование аэрометодов в почвоведении. Почвоведение, № 6.

Неуструев С. С. 1930. Элементы географии почв. Сельхозгиз, М.

Почвенная съемка. Руководство по полевым исследованиям и картированию почв. 1959. Изд. АН СССР, М.

Садовников И. Ф. 1946. Руководство по производству почвенных исследований. Сельхозгиз, М.

Садовников И. Ф. 1954. Почвенные исследования и составление почвенных карт. Сельхозгиз, М.

Соколовский А. Н. 1956. Сельскохозяйственное почвоведение. Сельхозгиз, М.

Шалыт М. С. 1950. Подземная часть некоторых луговых, степных и полупустынных растений и фитоценозов. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. III, Геоботаника, вып. 6.

植物群落成分的生态-生理学研究

陆生植物光合作用研究方法概述

O. B. 查連斯基 (Заленский)

(苏联科学院植物研究所光合作用研究室)

引　　言

地球上生物圈中活有机体的最重要特点就是它們有进行一定化学工作的本能。如大家所知，进行这种工作的主要能源就是太阳能、綠色植物吸收太阳能和用有机物的形式把它固定下来。綠色植物所完成的合成工作的数量在地球上的不同地带是远不相同的。这种地带性的或空間上的差异在陆生植被中特別明显。此外，綠色植物所进行的工作量在植物界的各種生物单位（种，生态型，生活型等）之間是极不平衡的。确定了这一或那一生物单位的工作量和工作特点之后，就可明确各該单位在植物界所固有的物质和能量总平衡中的位置。

为了了解在进化过程中植物界各生物单位之間所形成的关系，为了了解它們在全世界和各个地区的分布規律，評价合成工作的数量也是必要的。在植物地理学中，早就把有机物质产品看作是决定植物分布及其相互关系的一个最重要原因。在麦逊和斯托特(Mason 和 Stout, 1954)的概述中引証了許多有关这方面的新資料。

在植物进行生命活动的环境中研究光合作用和呼吸作用是評价植物合成工作数量的一个最簡捷方法。因此，在最近 50 年期間，植物同化作用的生态-生理研究得到了发展。

光合作用生态-生理研究的任务首先在于：分析植物生产率在不同的生命活动条件下发生变化的原因，計算产品的实际数值和潜在的可能数值。此外，在植物的生态-生理研究中，光合作用不但是植物生命活动的基本过程之一，而且往往被用作敏感的指标，借以观察植物有机体对各种条件变化的反应。根据这种反应的性质，就可比較的評价各种植物与外界环境因素及它們所在生境的关系，評定这些植物在生物群落中的相互关系等。而且，不能不指出，光合作用的生态-生理研究对闡明这一过程的实质和机制有很大意义。在上述所有問題中，光合作用的研究都与呼吸作用的研究紧密相关。

要解决上述任务，必須善于把觀測和實驗結合起来，利用可以在野外和實驗室进行工作的各种研究方法。制訂供在自然条件下研究光合作用之用的方法有很大的困难，因为光合作用准确的測量是基于气体交換(二氧化碳或氧气)。

只有在严格固定的生理活动条件下，才可能准确地測定植物叶片气体交換过程的强度。即便生理条件的微小的改变也可能引起光合作用的变化。而且，当根据气体交換指标研究光合作用时，到目前为止，我們还不能不采用各种装置，这些装置又不可能不改变植物活叶中光合作用的現實条件。必須指出，这些变化对光合作用发生影响的性质和程度在許多情况下还是研究者所不明了的。例如，以气体交換作为指标測定光合作用的唯一可能性是必須把植物叶片密閉在这种或那种不同类型小箱里。甚至仅仅由于光合作用的結果所造成的箱內的状况也总不同于箱外的情况(叶面上 CO_2 浓度的分布不同等)，而且，所产生的变化可能影响到活叶同化二氧化碳的速度。总之，可以这样說，如不改变影响光合作用过程的条件，那么，要用气体交換指标来精确地測定光合作用，原則上是不可能的。換句話說，測定的結果在許多情况下将决定于光合作用所处的条件，而在測定时所发生的条件变化往往无法估算。

当有必要研究自然条件下的光合作用时，我們总是要遇到这

些原則性的困难。影响自然条件下叶片和箱內叶片光合作用的那些因素(溫度, CO_2 浓度等)的差异随着測定工作的延长而迅速增长,由于計算二氧化碳或氧气浓度变化的現有方法的灵敏度不足,要把曝曬時間縮短到理想范围内又不可能。

除上述这些原則性的、方法上的困难之外,还有許多因供研究自然条件下植物光合作用的仪器(特別是供在野外进行研究工作的仪器)的远不够完善而造成的一系列困难。

因此,許多专家认为,研究自然条件下的光合作用是植物生态-生理学中的最复杂的課題之一。然而,最近几年,在探討測定自然条件下光合作用的方法方面,取得了重大成績。概述这方面的研究状况就是本文的基本任务。

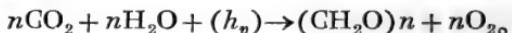
关于植物同化作用的指标

光合作用是由好几类化学反应(光被色素吸收,水的光氧化,形成的氢向被还原的基质轉移,氧的释放,二氧化碳的固定,被固定产物的还原,碳代謝的中間产物和最終产物的形成,二氧化碳接受体的再生等)組成。上述各种反应的机制与呼吸代謝紧密相关。此外,所有这些反应(至少是大多数)都严格局限于植物同化細胞的一定形态构造中。在光合作用参加下所形成的有机物质从同化細胞轉移到其它組織和器官,經受进一步的代謝轉化。这一切最終地决定了如生长、发育和整个植物有机体生产率之类的复杂現象以及植物有机体对外界环境条件变化的反应。如果心里設想一下植物同化作用的复杂情景,那么就会很清楚;描述光合作用的特征需要利用各种不同指标的綜合。

关于說明植物同化作用特征的指标問題还远远未得到足够的研究。下面,我們試圖簡述一下从生态-生理角度研究光合作用时所应注意的那些指标。

光合作用强度

光合作用强度是植物同化作用的基本指标，它說明这一过程的速度。测定光合作用强度的基础是測量参加这一过程的物质的数量。从光合作用的总方程式能清楚地看出，这类物质就是二氧化碳(碳酸)和水以及它們的最后产物——有机产物[以 $(\text{CH}_2\text{O})_n$ 符号表示]和氧气：



根据叶綠素所吸收或被束縛在有机产物中的能量(h_v)也可确定光合作用强度。然而，在上述所有各种原則上的可能性之中实际用来測定光合作用强度的只有下列指标中的一种或若干种：1) 被吸收的二氧化碳的数量，2) 被释放的氧的数量，3) 已形成的有机物质的数量。

从这些指标中选择一个并无严重的困难。在實驗中已經知道：所有植物光合作用气体交換系数 $\left(\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}\right)$ 数值通常趋近于常数，而是在被吸收的二氧化碳数量、增加了的有机物质的重量和有机物中所束縛的能量之間存在近似的一致性 (Smith, 1943)。上述各种指标的測量都应在一定的时间內进行，同时应假定，这一時間內过程的速度是保持不变的。

为了正确評价實驗資料，首先为了对比用不同植物在不同条件下所得到的数据等等，必須用某一种代表同化植物的共同单位来表示一定時間內光合作用的数值。叶片面积、叶片体积、叶片干重或鮮重都可以作为計算光合作用强度的这样的单位。这样，就可以确定光合作用的强度，例如，像单位面积的叶片在单位時間內所吸收的二氧化碳数量。

当評价光合作用强度的比較測定的各种可能性时，最难的問題是挑选能代表植物本身特征的单位，而植物光合作用的数值應該属与它有关。大家都知道的，各种植物叶片的构造是非常多种多样的：它們的形态、厚度、水分含量等各有不同。因此，叶面、叶

片干重和鮮重(或容积)之間的可能比例关系不但各个种不同，就是同一植物也往往不同。例如，1 平方分米薄叶的光合作用强度可能比同样面积的較厚的叶片小，如果厚叶由大量的同化細胞組成并含有較多叶綠素的話。有許多植物的叶面大小一般就很难測定。在这样的情况下，最好是利用干重作为計算光合作用强度的单位。然而，必須注意，用干重計算光合作用强度时，不同叶片的同化組織和非同化組織的数量可能有所不同。最后，用鮮重(或容体)单位来比較計算光合作用强度在叶片含水量变化不定的情况下是非常不够准确的。

当必須比較評价同化器官形态构造很不相同的植物的光合作用时，选择計算这一过程强度的单位的上述困难就更为突出了。紐沃勒尔 (Neuwohner, 1938) 的研究就可說明这一問題。他的研究的任务是比较評价盐生植物和淡土植物光合作用的强度。如所周知，盐生植物不同于淡土植物之点首先是每单位鮮重同化器官的含水量高得多(平均为 85—90%，而淡土植物是 50—65%)。其次，盐生植物每一单位鮮重叶片(或嫩枝)的同化面的发育程度比淡土植物低 $\frac{1}{2}$ — $\frac{2}{3}$ 。因此，比較属于不同生态类群的各种植物的光合作用(或呼吸作用和蒸騰作用)强度时，由于計算所用的单位(干重，鮮重或同化面积)不同，可能得到完全不同的結果。紐沃勒尔的数据表明：都換算为干重的話，盐生植物光合作用的强度即为淡土植物的 $3\frac{1}{2}$ 倍。这是完全可以理解的，因为如上所述，盐生植物同化器官的含水量比淡土植物多得多。

如果以单位同化面积来計算光合作用强度，那么，关于盐生植物和淡土植物这一过程的比較强度，就可得出完全不同的結論。这时，盐生植物的光合作用强度比淡土植物的数据低得多。当用单位鮮重来計算光合作用强度时，则盐生植物的指标与淡土植物的指标之間的差別不大。

由上述例子可見，比較評价同化器官形态結構显然不同的各种植物的光合作用强度是非常带条件性的。为了进行这样的評价，往往必須預先針對研究对象考慮适当的研究方法，然后，应选

择这样的計算单位，使这种单位在比較各种植物的光合作用强度时应能反应最真实的情况。

在結束光合作用强度換算方法的概述时，必須指出，在某些特殊的情况下，有人利用叶綠素含量 (Willstätter u. Stoll, 1918; Любименко, 1935)、叶片中蛋白质含量 (Williams, 1939) 等作为計算单位。不能不說一句，上述各种指标在用来計算光合作用之前，本身也應該用叶重、容体或面积来計算过。当然，这样的計算也与上述光合作用强度的計算一样，是带有条件性的。

因此，必須考慮到，到現在为止，还未能从結構复杂的同化器官的各种性状中找出这样一个特性，它的变化在所有情况下都与光合作用的变化有直接的关系。所以，不可能提出一种适用于整个植物界的、計算光合作用强度的万能单位以供精确的比較評价之用。但是，在实践中，薩克斯 (Sachs, 1884) 的建議已流传很广，根据这个建議，在絕大多数的情况下用单位叶面来比較計算具叶片植物的光合作用强度。选用叶面这个最常用的比較单位的依据是：叶面的大小在一定程度上决定了投射到植物叶片上的光的数量¹⁾。

单細胞藻类和許多具有同化部分的不同系統群中的植物一样，很难測定它們的同化部分的面积，其光合作用强度常常以单位干重来計算。在現代的文献中，用鮮重来計算的比較少見。为了更好地保証能将光合作用的实际研究結果与文献中的資料进行比較，專門計算一下(那怕是一次也好)被研究植物单位同化器官面积的鮮重和干重是大有好处的。知道了面积，干重和鮮重之間的比例系数，就可用不同的比較单位来近似地表示光合作用强度。这样，大大扩大了比較的可能性，并能将获得的實驗資料作深入的分析。

到現在为止，我們只談了光合作用的强度問題，還沒有研究这个指标与呼吸作用的关系，而后者是植物同化作用这个統一过程

1) B. H. 留比繩科 (Любименко, 1935) 指出，叶片的光合作用实际上取决于投射到叶綠体表面的光的数量。根据叶綠体结构的現代概念，实质只这种单位可能即可称为顆粒体的表面等等。然而，从叶片細胞中分离叶綠体的方法 (Глик, 1950)，以及定量計算它們面积或物质量的方法目前还处在探索阶段。

的另一方面。根据現有的概念[見文特拉烏布(Weintraub, 1944), 拉比諾維奇(Rabinowitsch, 1951 a)等人的概述], 植物綠色部分呼吸作用在光照下的速度与黑暗中的速度相同, 即光对呼吸作用沒有重大影响。因此, 在光照下的植物同化器官中, 同时进行着光合作用和呼吸作用, 这两个过程在气体交換和能量方面是相互对立的。在某些条件下, 如在光照强度很低时, 光合作用过程中所吸收的二氧化碳(或释放的氧)可能降低到与呼吸作用中所释出的二氧化碳相等这种程度。普勒特采尔(Plaetzer, 1917)提議把这种气体交換状况称为补偿点(компенсационный пункт)。当光照强度較高时, 光合作用不但能补偿呼吸作用, 而且还能在一定程度上超过呼吸作用。我們在这种气体交換状况下测定光合作用时, 能够計算出来的只有叶片所吸收和释放的二氧化碳之差。然而, 計算光合作用强度时要假定: 这片叶子同时把呼吸作用所释放的全部二氧化碳都用到光合作用上去了。不考虑这部分二氧化碳的数量, 我們就只能知道外表的或可見的光合作用的强度。为了測得真实光合作用的数值, 必須在外表光合作用数值上加上同化叶片中因呼吸作用而形成的那部分二氧化碳的数量, 即訂正光合作用的强度。

許多联系同化作用生产率問題討論这一过程生态-生理[特别是在研究海藻生产率(Gessner, 1955), 乔木生产率(Polster, 1950)等的情况下]的著作中, 都分析了上述两个指标。为此, 用同样的叶片試样同时測定了外表的光合作用(光照下)的强度和呼吸作用(黑暗中)的强度。将两个得出的数字相加, 就算出了真实光合作用。

只有在光不影响呼吸强度这一提法完全証实以后, 这样的算法才能是正确的。但是, 这个問題到現在为止还没有最后在实验中解决。不久以前, 用示踪原子方法所进行的工作証明: 在正常同化器官的呼吸作用过程中所释放的二氧化碳的数量, 在光照下释放的仅为在黑暗中释放的 30—50% (Steemann-Nielsen, 1955)。有些資料报导, 植物光合营养細胞(фототрофная клетка)在强烈

的光合作用下或者在实际上一般不释放出呼吸作用形成的游离二氧化碳，或者这个数量小到无法测量的程度 (Заленский, 1957; Rither, 1956)。因此，我们认为，用植物光合营养器官的呼吸作用来进行订正和计算真实光合作用没有什么意义。这样订正值实际上是不可能测量的，因为人工荫蔽的叶片的呼吸作用大小不能代表这一过程在光照下的强度。

光合作用对外界环境因素的关系

甚至对光合作用强度进行一次比較測定也能看出：生长在不同条件下的各个植株的这个指标是不相同的。但是，为了說明各种植物同化作用的特征，一次的測定当然是远远不够的。植物生态-生理学研究的最重要任务就是阐明这些或那些生物单位(生态类型，种类群或种)所占据的位置对外界环境主导因素的关系。植物生命活动的基本过程——光合作用在类似性质的研究中，特別是为了确定植物的生态类型属性，为了查明植物分布規律等問題曾不止一次地用作指标(Schimper和Faber, 1935; Любименко, 1935; Walter, 1951; Lundegård, 1957 等)。

这一或那一植物的光合作用对直接起作用的各主要因素(光，周围空气中的二氧化碳浓度和溫度) 的关系取决于这个过程的强度对环境变化的依賴关系。这种依賴关系是說明植物同化活动特征的一个独立指标。它可以根据自然条件下的直接測定数据和專門实验室的試驗資料来确定。

在自然条件下測量光合作用强度时，要測量溫度和同化叶片周围空气中二氧化碳的浓度，还要测定光照强度。整理在同一条件下不同时间内的各次測定結果，可以作出光合作用对这一或那一因素变化的依賴关系曲綫，或者划出同化作用摆动的范围。最近，許多植物都得到了这样的曲綫 (Cartellieri, 1940; Polster, 1950; Tranquillini, 1954; Pisek u, Tranquillini, 1954, 等)，图1是这种曲綫的一个例子。

然而，應該指出，根据自然条件下的測定資料而作出的光合作用对外界环境因素的依賴关系曲綫是有許多缺点的。例如，虽然研究了光合作用对光照度的依賴关系，但我們并不能把自然条件下其它外界因素(溫度， CO_2 含量等)的变化拉平。并且，在一定的光照条件下，它們对光合作用强度的变化会发生影响。其它因素的这种影响加上被研究植物在生物学上的不一致性所造成的誤差，其結果是，如在图 1 中可以清楚看到的那样，光合作用对光照的依賴关系曲綫上的点子多少比較分散。这种情况自然而然地降低了曲綫的可靠性。

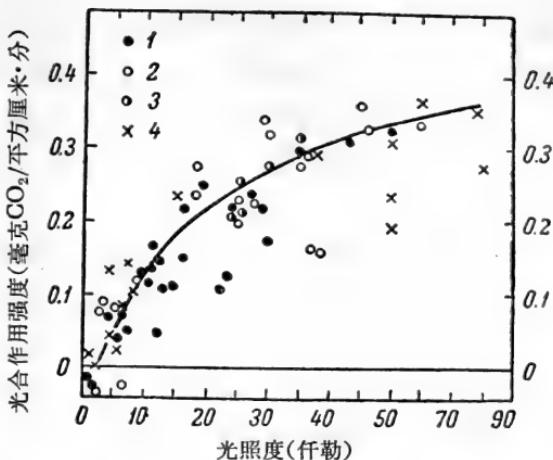


图 1 *Doronicum Clusii* 的光合作用对光照强度的依賴关系
(根据 Cartellieri, 1940)
1—1937年7月9日；2—1937年9月1日；3—1938年7月27日；4—1938年8月15日。

此外，外界环境因素在自然条件下的变化范围(特別是如果工作短期地在某一地点，而不是在不同地方进行的情况下)、通常比起实现該植物种所固有的同化活动的可能性要小得多。在这样的情况下，只能确定曲綫的个别部分。为了分析光合作用对上述三种外界因素的依賴关系，必須使曲綫具有一些基本点子，根据这些点子就可划出曲綫来。为了即使在野外的試驗中也能得到完整的曲綫，那就要人为地扩大影响被研究植物光合作用的外界条件的差异范围。例如，在叶片箱中，可以用不同层数的透明紙¹⁾遮暗这个箱的个别部分，以建立不同光照强度的梯度。当研究光合作用对溫度的依賴关系时，可以把叶箱放在溫度一定的水浴里。在野

1) 当用放射計量法測定光合作用时(見 355—357 頁)。

外条件下人工創造不同的二氧化碳浓度是很困难的。与光照强度和溫度相比,这个因素在自然条件下的变化相对而言是比较少的,而光合作用的二氧化碳的飽和程度(應該測定),如大家所知,只有在二氧化碳的含量比一般空气中高得多(0.2—0.3%)的时候才会出現。

如在有專門設備的實驗室中研究光合作用对外界因素的依賴关系,上述許多困难則比較容易克服。在这里,可以比較精确地測定光合作用在排除了其它因素(溫度, CO_2 浓度)影响时对某一因素(例如,光照强度)作用的依賴关系,因为其它因素都保持在一定的固定水平上。利用下面将談到的某些測定光合作用对光照和二氧化碳含量的依賴关系的方法,研究一个叶片或一根枝条可以繪出曲綫。所有这些都頗为显著地提高所得結果的可靠性。此外,在實驗室可能創造的因素变化范围比在自然界要多得多,这样,就可以得出光合作用对各种因素作用的依賴关系的完整曲綫。

因此,研究光合作用对外界因素作用的依賴关系,特別需要在實驗室进行工作。

現在来研究一下代表光合作用对外界因素依賴关系的那些标志,即: 1)一个因素在它开始影响植物气体交换时(因素开始发生作用的时刻)的强度; 2)觀察到补偿点时該因素的那种强度(例如当光合作用等于呼吸作用时的光照强度); 3)曲綫上升部分的傾角,根据它来判断速度,在該因素作用强度增加时,光合作用隨速度的增加而增大;有时,这个标志用照度数值表示,在这种照度条件下,光合作用强度为飽和状态时强度的一半 (Rabinowitsch, 1953); 4)光合作用强度不再隨因素作用强度的进一步增加而递增或递減时,該因素的作用强度(因素的飽和强度); 5)光合作用达到飽和时的强度的絕對值,在被研究因素的作用下,如其它条件不变,这个数值相当于植物的最大光合作用能力。

如果現在按照这些标志来計算被研究植物光合作用对光照强度、 CO_2 浓度和溫度的依賴关系,那么很容易看到,所获得的曲綫对上述每一因素來說都具有一定程度的特殊性。

显然,各种植物的所有正常发育的叶子的光合作用对 CO_2 浓度的依赖关系曲线都将在周围空气中二氧化碳含量平均在 0.1—0.3% 左右时达到饱和状况(达到顶点)。浓度进一步增加,至少增加百分之几,如果其它因素不变,光合作用就不致再增强。在不同的个体发育时期,植物种与种之间的差别虽然存在,但一般不很显著。

相反,光合作用对光照强度的依赖关系曲线在不同植物种之间的差别却大得多。许多植物就是在世界上光照强度最大(~ 180 仟勒克司或 ~ 1.65 大卡/平方厘米)的帕米尔高山荒漠这样的地区,其光合作用在照度增加到全日照度时还是不断增强。同时,许多植物的光合作用的光饱和点在 1000 勒克司左右,因此,在光因素方面,我们在植物界看到巨大的系统发生和个体发育变异范围。这种变异性远不是永远与生境条件直接影响有关联。生长在光条件完全相同情况下的种,如落叶松和松树(图 2),其光合作用对光照度的依赖关系曲线往往各不相同。这一过程对于不同外界环境因素,首先是与光照的作用的依赖性质显然在许多情况下决定于植物遗传的,在进化上制的特性(Заленский Вознесенский и Семихатова, 1958)。

光合作用对温度的依赖关系还很少研究。然而,这种关系一般不同于与二氧化碳和光的关系。光合

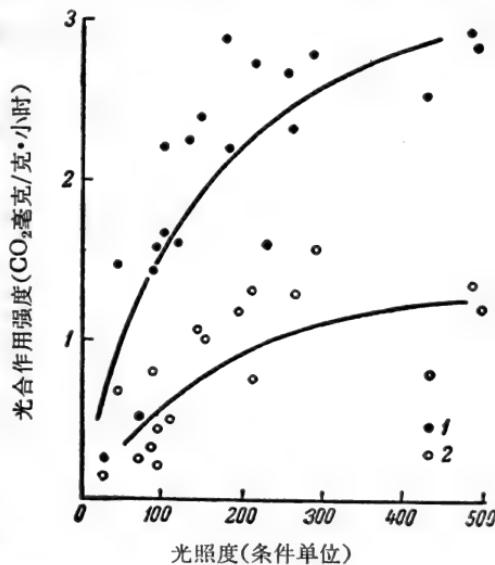


图 2 落叶松(1)和松树(2)的光合作用对光照强度的依赖关系。1938年 8月 29日 (根据 Polster, 1950)

作用溫度曲綫总是有一个最适带,过了最适带之后,光合作用当溫度增加时下降。如溫度进一步上升,以致引起了呼吸作用加强,那么就出現所謂上补偿点。在强光和高浓度 CO_2 的作用下,暫时还未見到这种补偿点。分析了光合作用对溫度的依賴关系,就可以确定同化机构对溫度影响的耐性。

从上述例子清楚看到,分析植物光合作用对直接和間接的外界因素(除我們已討論到的因素外,还有湿润因素等)的依賴关系对生态-生理研究是多么重要。

光合作用的潜在强度

研究光合作用的最重要任务不仅是記載它在自然界的変化(为了解释一系列的植物生活規律,这是非常必要的),而且要用實驗来闡明植物在太阳能利用系数方面的潜在可能性的种間差异。

如果提出了这个問題,就有必要研究所謂最大潜在光合作用能力(即光合作用的最大可能强度)。这种能力取决于植物内部組織各种特征的总体。B. H. 留比緬科(Любименко, 1935)、B. A. 布利梁特(Бриллиант, 1950) 和其它許多研究者都指出了这个指标的重要性。

确定植物光合作用的最大可能强度的研究归根到底是研究光合作用与外界因素的依賴关系。但在許多情况下,重要的不仅是要求这个最大值,而且要研究具体生活条件下的植物所具有的潜在光合作用能力等等。为此,使其它許多影响植物的因素保持不变,即在自然条件下进行研究,必須排除其中二氧化碳不足的限制影响,以便使光合作用能达到在这种条件下的潜在可能数值。

研究自然条件下植物的潜在光合作用能力的实际可能性在不久以前,即在用放射性同位素 C 定量测定光合作用的方法研究出来以后才出現。这一方法的特点(Заленский, Семихатова 和 Вознесенский, 1955)在于:在二氧化碳——最强烈限制陆生植物光合作用的因素之一——的饱和浓度情况下,测定自然条件下

植物的光合作用。在保証很好地对比与根据自然条件下觀測到的光、溫度、湿度以及其它外界和內部因素的廣闊变化范围相配合的不同植物种光合作用的測定結果时,这个方法使我們有可能研究具体条件下的潜在光合作用强度,并能近似地說明該种植物的最大光合作用强度数值。

光合作用的动态

从上面的叙述可見,对野外植物同化作用进行生态-生理研究时,最好是研究两个指标——通常的 CO_2 浓度和升高的 CO_2 浓度下的光合作用(潜在的光合作用强度和“自然”光合作用强度)。两者之間的差別可以証明:該植物所固有的进行同化作用的可能性在它的生活条件下有多少現實性。这两个指标随着影响植物的条件不同,植物的生长和发育的特点不同,在時間上有很大的变化。这样的变化与气候的地帶性类型和植被发育的总节律有密切的关系。每一个地帶性的植被类型都有它自己所固有的同化作用季节性节律(Заленский, 1954)。在某些情况下,这种节律因这种或那种植物所处的植物群落条件的影响而有很大变化。各种原因所引起的条件变化在光合作用日变化性质上表現得最清楚。但是,根据所有这些变化进行詳細研究时,发现植物本身具有这样地或那样地調节光合作用动态的能力。因此,光合作用往往被用作研究植物与植物,植物与周围环境的复杂关系的一个很灵敏的指标。

可以通过在一天的不同钟点內和在植物生长季的不同时期的测量工作来研究光合作用“自然”强度和潜在强度的动态。

光合作用产物的质的組成和同化物的流出

根据許多研究者的意見,光合作用中所吸收的碳 不但是用来形成碳水化合物,而且被用来制造其它許多有机物质,其中包括蛋白质。这就是說,由于光合作用产物在組成性质上的变化,它們的

运动和进一步生物合成的特征的不同,植物的其它生理功能,首先是它們的生长,也应有所变化(Ничипорович, 1953; Сабинин, 1955)。因此,光合作用产物的质的組成影响植物的最后生产率。

由于放射計量法的应用,使不同条件下光合作用产物的质的組成的研究成为可能。根据放射計量法,其中也使我們有可能不仅查明光合作用时吸收的二氧化碳的化学新陈代谢途径,而且也查明它在植物有机物质中的量的分布(Заленский, 1955)。如 Л. А. 菲里波娃(Филиппова, 1955)所确定,光合作用中所吸收的碳在叶片有机物质中的分布在帕米尔高山荒漠野生区系的不同植物种不同。在光合作用中所吸收的、参加碳水化合物形成的碳的百分率从早到晚地增加,在植物生长期中不断地变化等等。

所有这些事实正說明了进一步研究自然条件下植物光合作用产物質的組成和同化物流出的迫切必要性。О. В. 查連斯基, О. А. 謝米哈托娃和 Л. 沃茲涅先斯基(Заленский, Семихатова и Вознесенский, 1955)的文章討論了这些研究方法。

作为植物生产率因素的光合作用

从生态生理学观点來說,生产率是植物在一定生存条件下所进行的一长串生命活动过程的最終結果。Л. А. 依万諾夫(Иванов, 1941)曾經提出了一个計算植物积聚的有机物质数量的总方程式

$$M + m = fPT - aP_1T_1,$$

式中 M ——植物在計算時間內的干重; m ——在这一時間內的失去的干重; f ——光合作用强度; P ——叶面或同化物质的大小; T ——光合作用的工作时间; a ——呼吸强度; P_1 ——“呼吸物质量”; T_1 ——呼吸时间,这个方程式的右边部分是光合作用“生产率”与呼吸作用“生产率”之差。

必須指出,光合作用“生产率”和呼吸作用“生产率”都是复合項,由各該过程强度与实现过程时间和植物同化面面积或呼吸物

质量的乘积所組成。上列方程式的最大优点在于，它指出了直接計算决定着生产率的基本植物生理过程和結構特征的必要性，而不是仅仅計算植物的重量。

根据自然条件下光合作用日变化和季节变化的研究結果，即可确定光合作用的生产率。对一系列的研究來說，这样作已經足够了。然而，目的在于对植物生产率各种变化作因果分析的工作，还应考慮上述的其它因素。因此，为了研究植物生产率各个問題，除了光合作用的計算方法外，还应利用其它許多方法。目前，对許多栽培植物 (Ничипорович, 1956) 和野生植物 (Boysen-Jensen, 1932; Polster, 1950; Заленский, 1956 等) 都完成了这样的綜合研究。

所以，为了描述植物的同化作用，必須利用代表光合作用强度、它与外界环境主要因素的依賴关系、这一过程的动态和性质以及最后它在有机物质的积聚过程中的作用的各种指标的綜合体。由此就很清楚，研究光合作用要采取不同方法，下面，我們就对这些方法进行說明。

关于光合作用研究方法的分类

到現在为止，光合作用研究方法的分类还远未得到足够的研究 (Бриллиант, 1950)。根据計算光合作用所依据的标准，首先可把現有的各种方法分为三类。前面已經提到，这些类所包括的方法是以計算同化器官所吸收的二氧化碳的数量、放出的氧气的数量或以計算它們的重量为基础的。其次，每一类的方法又可按計算上述指标的方式作較詳細的划分。我們觉得这样分类已經足够了，因为“方法”这个概念的本身就是意味着这一或那一自然現象的研究方式。

表 1 是根据上述原則将研究光合作用的定量方法进行分类的嘗試。

分析表 1 中的資料可以看出，目前存在着許許多各色各样

表 1 研究光合作用定量方法的分类

计算光合作用的标准	方 法	描述该方法的著作
被吸收二氧化碳的数量	<ol style="list-style-type: none"> 根据吸收物质重量的变化测定二氧化碳。 根据吸收 [气量法 (эвидиометрия)] 二氧化碳后气体体积的变化, 测定二氧化碳。 根据压力的变化测定碳酸 (应用酸的缓冲液的检压法)。 根据吸收溶液滴定的变化测定二氧化碳。 根据吸收溶液 pH 的变化测定二氧化碳 (比色法)。 根据气体导热性的变化测定二氧化碳 (导热分析—卡塔罗米特)。 根据吸收溶液导电性的变化测定二氧化碳 (电导测定)。 根据吸收红外线辐射的程度测定二氧化碳。 根据放射性碳的吸收情况测定二氧化碳 (放射计量法)。 根据原子质谱的变化测定二氧化碳 [质谱分析 (массспектрометрия)]。 	<p>Willstätter u. Stoll, 1918</p> <p>Ingen-Housz, 1779; Saussure, 1804.</p> <p>Burk, Hearon, Caroline a. Shade, 1946.</p> <p>Boussingault, 1869.</p> <p>Osterhout a. Haas, 1918.</p> <p>Waller, 1928.</p> <p>Spoehr a Mc Gee, 1923.</p> <p>Mc Alister, 1937; Egle u. Ernst, 1939.</p> <p>Ruben, Hassid. a. Kamen, 1939; Заленский, Семихатова и Вознесенский, 1955.</p> <p>Van Norman a. Brown, 1952.</p>
排出氧气的数量	<ol style="list-style-type: none"> 根据体积的变化测定氧气 (气量法)。 根据压力的变化测定氧气 (使用碱性缓冲剂的检压法)。 用化学方法测定氧气。 根据原子质谱的变化测定氧气 (质谱分析)。 	<p>Ingen-Housz, 1779; Saussure, 1804.</p> <p>Warburg, 1918.</p> <p>Winkler, 1888; Willstätter u. Stoll, 1918.</p> <p>Van Norman a. Brown, 1952.</p>
已形成的有机物质的数量	1. 计算干物质重量变化或光合作用主要产品的数量。	Sachs, 1884.

的研究光合作用的方法。其中最流传的是各种气体测定法, 这些方法的基础是测定该环境中绿色植物的光合作用在周围环境中所引起的变化。按照同化植物周围环境中二氧化碳和氧气数量的变化测定光合作用过程的强度, 比根据已形成的有机物质重量的变

化来测定要快得多和准确得多。与通常的气体分析例子一样，許多气体测定法可以同时計算光合作用中所吸收的二氧化碳和排出的氧气的数量。这就給确定光合作用过程中各种交換气体之間的数量关系(同化系数)提供了可能，根据这个系数的变化又可以間接地判定光合作用产品的化学成分的性质。

研究陆生植物的光合作用，几乎毫无例外地要借助于以测定被吸收二氧化碳的数量为基础的气体测定法，而研究水生植物的光合作用大都是根据排出氧气数量的测定。这是因为，空气中氧气的含量(占空气体积的 21%) 与它在水中的含量(在大洋水中，溫度为 10° 时，占水体积的 0.6—0.7%) 相比是很大的。可見，根据氧气記載光合作用在水体中所引起的气体含量变化是比较方便和准确的，在空气中則应根据二氧化碳来記載。确实，近年来，有过許多应用瓦尔布尔格(Варбург)的經典压力测定法来主要从生态-生理观点研究陆生植物光合作用的尝试。在这个方面进行进一步的研究是很值得的，因为这个方法的好些特点(能够同时测定一系列平行叶片样品的光合作用动态等等)极宜較广泛地用于 陆生植物光合作用的生态-生理研究。在 O. B. 查連斯基、O. A. 謝米哈托娃和 B. Л. 沃茲涅先斯基(O. B. Заленский, O. A. Семихатова 和 B. Л. Вознесенский, 1955)的著作中，专有一章詳細描述研究高等植物叶片光合作用的气压法。

下面概述一下現代生态-生理学研究中，特別是自然条件下的研究，所采用的研究陆生植物光合作用的一些定量方法。我們將不討論較古老的光合作用测定法(气量法和重量法)，因为在一般的实习教学課程中很容易找到关于它們的介紹。目前尚未用于生态-生理研究的一些現代的方法(质譜分析，导热分析和利用酸性緩冲剂的气压法)也不予詳述。

根据吸收二氧化碳的溶液的滴定度 变化测定光合作用

无论在普通的大气或人工气体混合物的气流中，或者在密闭系统（如烧瓶）条件下，都可按照吸收溶液滴定度的变化来测定光合作用的强度。在光合作用的生态-生理研究中特别广泛流行的方法是：通过放有同化叶片的叶箱和碱性吸收溶液吸取新鲜空气。约在一百年以前，布逊戈（Boussingault, 1869）首次地采用了这个吸气法。

在以后这个方法被应用于大量的研究工作中，并且又经过各种各样的改进。目前所采用的测定光合作用中被吸收二氧化碳的数量的方法已大大改变了，但布逊戈法的基本原则和仪器的基本部件在许多方面还是照旧保留了下来。因此，这个方法的许多特点对分析下列许多测定光合作用的方法有着重大意义。

在实验研究中用了一个长时期以后，“气流”法（метод “в токе воздуха”）便开始愈来愈广泛地被用来研究在植物自然环境条件下的植物的光合作用。在这方面，科斯蒂切夫（Костычев）的著名研究工作有很重大的意义，在他的工作之后，测定光合作用的“野外”方法便牢固地进入科学中。纪录自然条件下光合作用变化的必要性，向测定光合作用的方法论提出了一系列的新任务，这些问题是实验室的研究者所未曾接触到的。在解决这些复杂任务的过程中，起重大作用的是许多植物生理学家的工作（Lundegård, 1922, 1924; Жемчужников и Сказкин, 1925; Вотчал и Толмачев, 1926; Вотчал, 1928, 1940; Костычев, Базырина и Чесноков, 1928; Boysen-Jensen, 1928, 1932; Красносельская-Максимова и Ордоян, 1929; Ничипорович и Бакулина, 1930; Boonstra, 1930; Базырина и Чесноков, 1932; Gassner u. Goetze, 1932; Heinicke, 1933; Heinicke a. Hoffman, 1933; Bosian, 1933—1934; Stålfelt, 1935; Рихтер, 1936; Holdheide, Huber u. Sto-

cker, 1936; Heinicke a. Childers, 1937; Schanderl u. Bosian, 1939; Ничипорович, 1940, 1955; Ничипорович и Васильева, 1941; Данилов, 1941 а, 1941 б; Иванов и Коссович, 1946; Комиссаров, 1948; Бриллиант, 1950; Извощикова, 1953; Извощикова и Неговелов, 1954; Починок, 1958, 等等)。

这个方法的原则在于：通过碱性溶液吸收二氧化碳和这种溶液的下一步滴定来对二氧化碳作定量测定。在这方面，也和所有气体测量法一样，光合作用强度本身总是根据叶片周围空气中原有或现有的二氧化碳(或气体混合物)数量与同化作用后空气中的二氧化碳数量之差来计算的。因此，为了测定光合作用的强度，总是要两次测量被溶液所吸收的二氧化碳数量(对照与实验)。

这一情况有很重要的意义。例如，如果把叶片短时间地放在 CO_2 含量很高的气体混合物中或者放在流通很快的气流中，那么，光合作用造成的二氧化碳浓度差异是很小的，并且，当对比吸收溶液的两次滴定结果时，很难确定这种差别。但是，如果同化叶片长久地放在二氧化碳含量很低的气体混合物中(或放在速度缓慢的气流中)，则光合作用的结果会使浓度发生很大的差异，以致足以进行准确的测定，不过，这时光合作用的强度可能受 CO_2 不足的限制。

В. Л. 沃茲涅先斯基(Вознесенский, 1958)在分析许多气体测定法所固有的这种矛盾时指出：只有十分严格地鉴定这种仪器测定二氧化碳浓度差异的可能精度，并慎重选择进行测定的条件(CO_2 浓度，空气流动速度，叶片曝光时间，叶片面积等)，才可能解决这个问题。工作用的叶片必须是新鲜的，同化器官功能要正常，对外界环境不同因子的变化要很敏感，这样，条件的选择问题就因而大大复杂化了。

上述一切问题的解决实质上是光合作用研究中的基本方法论任务，特别是那些旨在研究植物自然生活条件下的光合作用变化的工作的任务。

按照吸收二氧化碳溶液的滴定度变化测定光合作用的仪器通

常由 3 个結合在一起的基本部分組成：1) 叶箱，2) 吸收器和 3) 抽吸器，后者的作用是抽出空气（或气体混合物）并尽可能精确地測出它的体积。在文献中，上述每一部分都有許多不同的改变。我們不可一一討論，下面只介紹一下該仪器各部分應該符合的最主要的方法上的要求。

叶箱。为了測定光合作用的强度，植物的叶片或其它同化器官应放在透明小箱内。这种必要性是絕大多数研究光合作用的方法所最难克服的缺点。

小箱用玻璃、賽璐珞、聚乙烯或其它任何透明材料作成，它和集热器（теплоулавливатель）一样在强烈的光照条件下工作，因为对热射綫的穿透率微小，它不能把植物发出的紅外綫辐射放出去。这样，叶片过度增热，小箱內空气溫度变高，其相对湿度改变，从而，蒸騰，光合作用和其它生命过程就在难于估計的“非生态”条件下进行。因此，对叶箱的結構及一般地对整个光合作用測定法提出的第一个要求是：必須尽可能少改变叶片生理作用的“正常”条件。

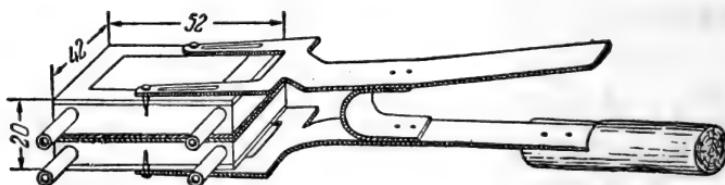


图 3 适用于 10 平方厘米叶面的夹鉗式叶箱
(根据 Почкинок, 1958)

此外，叶箱应保証叶片和叶上气流（或气体混合物）之間二氧化碳的无阻交換，以及 CO_2 在叶面各不同部分的均匀分布。

从这些要求出发，叶箱首先應該具有符合同化器官或枝条的形态結構的形式，不应有“有害的空間”，因为叶面上被滲漏出来的二氧化碳可能会停在这种空間里。因此，叶箱容器的形式非常多（圓形，柱形，球形，立方体形，椭球形，漏斗形等）。

关于叶箱大小的問題可以說也是如此。有的很大，大到可容下整株栽培植物 (Thomas 和 Hill, 1949)，整棵树 (Heinicke, 1933) 或整个培养器 (Любарская 和 Макаров, 1950)。也有很細小的夾鉗式叶箱(图 3)，它只能容下叶片的个别部分 [Ничипорович (1955) 等]。

制备叶箱是用普通玻璃或有机玻璃、赛珞玢、聚乙烯等。用这些材料往往只是作小箱上下两面的壁，它們是固定在木制或金属制的两个侧壁上。在气体混合物的气流中工作时，采用多层结构的密封小箱 (Mitchell, 1935; Вотчал, 1940; Оканенко, 1940 等)。在自然条件下，研究光合作用是在大气气流中进行，所采用的叶箱或者一端完全敞开 (Жемчужников和 Сказкин, 1925)，

或者局部关闭，留出一些漏气洞 (图 4 和图 5)。无论
是密封的或者

是开口的小箱都可用以测定从植物上摘下的或不摘下的叶片的光合作用。在野外工作中，虽然不是經常必要，但一般宁可测定未从植物体摘下的叶片 (Бриллиант, 1950, 等等)¹⁾。在这种場合下，叶片从敞开的一面或从可用

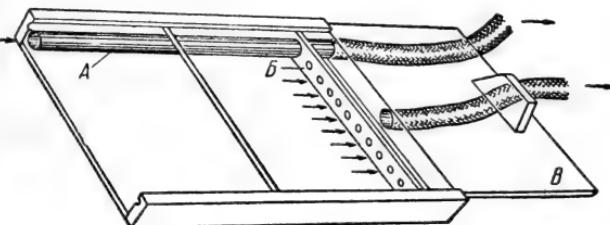


图 4 沃兹涅先斯基式叶箱
A——对照空气的吸气管；
B——在小室内建立均匀气流的栅格；
B——箱盖，箭头指气流方向。

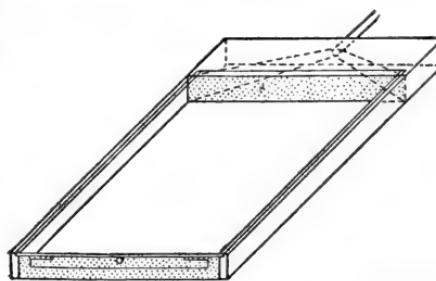


图 5 向德列尔 (Шандлер) 和波集安 (Бозиан) 式叶片箱

1) O. A. 謝米哈托娃 (Семихатова) 的文章 (見本卷 374 頁) 討論了摘叶的影响問題。

不同方法敞开的上壁放入小箱内。为使叶片不致碰到箱壁，有时把它用卡普隆綫或别的綫紧紧牵住在一个框子里。这样的框子连同叶片一起放入小箱内。

近年来流行較广的是結構很简单的叶囊，这是用賽璐玢或聚乙烯制成的(图 6)，最早的设计人是赫尼克 (Heinicke, 1933)。叶囊附設有吮吸空气的管子和直接貼在植物叶片上的溫度計，用一般的迴形針就可以把它們固定起来。不久以前，有人 (Koch, 1956)介绍了另一种叶箱结构，叶片不是放在箱内，而是直接摆在有一条小貼边的上壁上面。这一扇壁是一块塑料板，上面有許多小孔，借以吮吸經過叶片的空气。

还有一种叶箱，可以容下不大植物的地上部分，而不用把植物从土壤中挖出来(Bosian, 1933—1934)。此外，有一种小箱只能測叶片的一个上表面或一个下表面(Heinicke, 1933; Nutmann, 1937)，或叶片个别部分 (Ничипорович 和 Бакулина, 1930, 等等)的光合作用。后者特別方便，因为他們所分出的叶片面积的大小永远是一样的，用不着專門去确定它。但应指出，在小小的叶箱

内，被吸收的二氧化碳永远很少，于是測定光合作用强度的精度就要大大降低。最后，还有可以同时研究光合作用和蒸騰作用的小箱 (Heath, 1939, 等等)。專門測定禾本科植物叶片的小箱(Andersson, 1944)，專門測針叶乔木的針叶的小箱 (Uhl, 1937)等等。

現在来討論一下各种叶箱所应具备的若干一般特点。

上面已經指出，最好能使小箱内被吸进的空气或气体混合物作尽可能均匀的运动。为此，往往用專門的隔板把吸气管和排气管在箱内

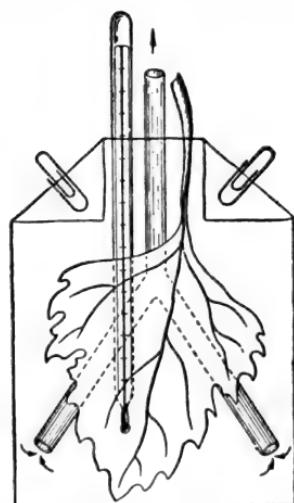


图 6 用聚乙烯作的叶囊 (根据赫尼克, 1933)

部隔离开来,隔板上有許多孔,可以把进来的空气在整个放叶片的空間內进行均匀分配 (Schanderl 和 Bosian, 1939)。有时,使小箱內通风的两个側壁是用有大孔的压制玻璃制成 (Bosian, 1933—1934)。

毫无例外,所有的叶箱都应有热敏电阻、溫差电偶或溫度計,以便控制空气或叶片的溫度。前面已經指出,光合作用的一切測定都應該避免箱內空气和叶片的过热。这是对一切光合作用測定法的最重要要求之一,而达到这个要求却是最大的困难,特别是在自然条件中进行工作时。减少叶片和空气过热有 3 个可能: 1) 短箱內叶片的曝光時間; 2) 測定工作在新鮮的大气气流中进行; 3) 人工冷却叶箱。

在增加新鮮空气气流速度的同时,縮短曝光時間是减少过度增热的最合理办法。縮短曝光時間的可能限度和增加气流速度首先取决于研究光合作用所采用的方法的准确性。曝光時間愈短和气流速度愈快,对照測定和實驗測定所引收的二氧化碳的数量差別愈小,而光合作用强度是根据被吸收的二氧化碳数量来計算的。当然,上述的差值减小时,測定的誤差就大大增大。既然,正是对照和實驗中 CO_2 的数量差值影响測定的精度,那么,对于該方法最适的曝光時間和气流速度本身就成为以被研究植物光合作用强度的絕對数值为轉移了。因此,为了在光合作用强度較低的情况下获得較准确的結果,就不得不延长曝光時間和縮小被滲出空气的气流速度。实际上,較准确的測定光合作用的方法和仪器(如下面将要討論的电导測定和放射計量法) 是可以把小箱內叶片的曝光時間減縮到几分钟(5—10分钟)的(在光合作用的强度为平均数值的情况下),这样可大大减弱箱內叶片的增溫。根据碱性溶液所吸收的 CO_2 测定光合作用,实际上不能不使箱內叶片曝光 20—40 分钟以上。这是該类方法的最大缺点之一。有些学者(Бриллиант, 1950)认为,因为,特别是在自然条件下,可以觀察到光合作用强度短時間的、偶然的变化,不宜使箱內叶片的曝光限制在很短(3—4分钟)時間內。然而,严格地說,到目前为止,还没有証实这种变化的存在。

既然,上述的各种方法都不能避免叶片的过度增热,就不能不使用人工方法来冷却叶箱或者用冷水灌注叶箱,或者給小箱装置專門的冷却設備(在小室壁上安上能让水流过的水的儲器)都可作到这一点。相当成功的冷却叶箱的一些方法在埃卡尔德(Eckardt, 1952, 1953)和納塞罗夫(Насыров, 1956)的文章中作了介紹。特朗圭里尼(Tranquillini, 1954)建議用吸收紅外線的玻璃濾光器将叶箱与太阳直接輻射隔开。根据該学者的資料,这种簡而易行的方法大大減緩了小箱內叶片和自然条件下叶片的溫度差別。然而,只有在新鮮的大气气流中测定光合作用时,上述各种冷却叶箱的方法才是有用。

吸收器 吸收器的主要功能在于:保証完全吸尽通过它的空气或气体混合物的气流中的二氧化碳,同时保証尽可能准确地测定 CO_2 数量的条件。吸收器盛有重晶石或含鈉碱的滴定溶液。在吸收 CO_2 时所形成的碳酸鋇大約經過一小时就沉淀下来,但碳酸鈉还是留在溶液中。在溶液中加入 BaCl_2 ,可以加速 BaCO_3 的沉淀过程。碱性溶液的浓度能对它所吸收的 CO_2 的定量测定发生影响。溶液愈弱或者溶液的体积愈小, CO_2 的定量测定愈加准确,因为最初滴定和最后滴定的差值比較大。不过,分量很少的弱溶液不能完全吸尽流經的空气或气体混合物气流中的二氧化碳。設計吸收器的結構时应考慮到上述的特点。

大多数测定光合作用的具体方法中,采用当量浓度为0.2至0.01的重晶石溶液或食盐溶液。注入吸收器的这种溶液通常是100毫升。为使这些溶液几乎能吸尽全部通过它的 CO_2 ,溶液和气体接触的时间和接触面积都应尽可能大一些。因此,第一,吸收器应作成狭长的管子,使注入管子的溶液柱能达到很大的高度。例如,波依生-燕生(Boysen-Jensen, 1928)的吸收器便是一个长150厘米的細玻璃管。这样大小的吸收器工作起来很不方便,特别是在野外。在吸收管中装置專門的隔板,以便把空气噴散为很小的气泡,可以达到縮短吸收管长度和促使吸收尽量多二氧化碳的目的。为制造这种噴散器,采用了多孔木材和木栓作的薄片、銀片和

硬橡皮薄片，卡普隆或奈綸織物等。目前，根据赫尼克和霍夫曼(Heinicke 和 Hoffman, 1933 a)的建議，几乎全都采用了孔径 50 微米左右的多孔玻璃所作成的过滤器(图 7)。要改进对二氧化碳的吸收，也可以用非常細小的螺旋状曲管，空气气泡沿这种管子能走一段长距离。然而，如果精簡所有这些条件，吸收器就應該使气流(不給它阻碍，因而中断抽吸器的工作)能很快地(达 50 升/小时)通过溶液。除了这些純结构性的零件外，在碱性溶液中加上几滴异丁醇或异戊醇，降低液体表面张力，从而在抽吸空气时引起泡沫的形成，这样可以大大提高吸收二氧化碳的程度。这种方式在托馬斯(Thomas, 1933)和霍尔德海依德、胡柏尔与斯托克尔(Holdheide, Huber 和 Stocker, 1936)的关于光合作用工作的实践中都曾使用过，現在則被广泛采用。

用吸收器工作时，碱性溶液应确保与大气空气隔离。溶液的滴定可以在吸收器中进行，也可以在联接吸收器的烧瓶中作。

最近，創立了一些較方便的吸收器结构，可以保証完全吸尽大气气流或气体混合物气流中的二氧化碳。其中应提出的是苏联捷斯諾科夫(Чесноков)系統(图 8)和里赫捷尔(Рихтер)系統吸收器，植物生理实验指南(Н. Н. Иванов, 1946; Вальтер, Пиневич 和 Варасова, 1957, 等)对它們作了詳細的介紹。用有机玻璃作的沃茲涅先斯基(Вознесенский)系統不碎吸收器(1958)也值得一提。

抽吸器和其它抽吸空气及测定空气体积的设备。許多以被同化二氧化碳的定量测定为基础的测定光合作用强度的方法的准确性在很大程度上取决于通过

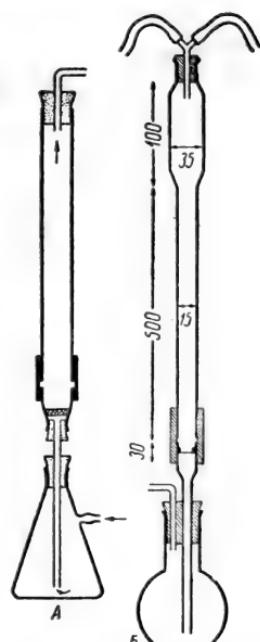


图 7 不同形式的吸收器
 A——根据赫尼克和霍夫曼(1933 a);
 B——根据达尼洛夫(Данилов, 1948)。

叶箱和吸收器所抽吸的空气的体积測定。对这种情况常常考慮得不够。可以同时吸收空气又可測定它的体积的最简单仪器就是尽人皆知的抽吸器。抽吸器注滿了甘油或水(Bosian, 1933—1934)，它是用玻璃瓶、鍍鋅鐵皮或鋁制成的。用抽吸器測空气体积时，必須注意遵守測定气体体积的基本操作規則。特別是，应用馬略特(Mariott)管平衡抽吸器和周围环境中的气压差，根据溫度訂正空气体积的变化等等。如果沒有馬略特管，就应当調整抽吸管所抽吸的空气的流速，因为測定时发生水柱高度的变化。然而，在实际工作中，由于抽吸器太笨重，又必須有很高的支架等等，所以它是一种很不方便的仪器。在野外环境下工作时采用它的已越来越少了。

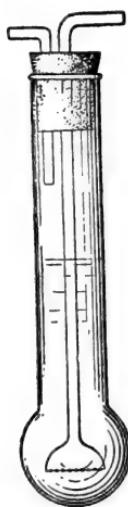


图 8 捷斯諾科夫系統抽吸器

目前，代替注水抽吸器的是各种結構的机械抽吸器(Holdheide, Huber 和 Stocker, 1936)，鼓风器和泵，发动它們可以用电动机，也可以用手。在自然条件下通常应用的測定光合作用的各种泵中，可以利用手动卡莫夫斯基(Камовский)式泵，如同 IO. C. 納塞罗夫(Насыров, 1956)所作的。上述各种仪器的主要缺点是，它們都不适于測量抽吸空气的体积。因此，用泵測定光合作用的仪器还应包括一个机組——电流計或气量計。許多實驗指南都描写了这些仪器的构造。而且，原則上完全可以創造一种供好几个抽吸器用的輕便泵，在泵中，抽吸空气的机构应同时尽可能准确地測量空气体积和調节气流速度(Заленский, Семихатова 和 Вознесенский, 1955; Вознесенский, 1958)。

現在，轉过来簡述一下在自然条件下測定光合作用的仪器和具体方法。

最简单的仪器是仅仅由叶箱构成的仪器，在叶箱中实现叶片曝光，同时又测定从空气中吸收的二氧化碳的数量。第一个这样的仪器是由隆德戈尔德(Lundegårdh, 1937)提出的，叶片放进注滿

了碱性溶液的密閉箱 10—15 分钟。隆德戈尔德的試驗表明，在这种密閉系統条件下，光合作用的强度受到二氧化碳不足的人为限制，特別是喜光植物。尽管如此，Л. А. 依万諾夫和 Н. Л. 科索維奇(Иванов и Коссович, 1930, 1946)在“同化烧瓶”法中还是重新恢复了隆德戈尔德的建議，“同化烧瓶”法在苏联已被推广。他們制造了容积为 4 公升的專門烧瓶，后者預先用抽吸泵灌滿空气。植物枝就放在这这种烧瓶中。然后，把密封的烧瓶放在光线下曝光 15—20 分钟。在試驗結束以后，取出枝条并把碱注入烧瓶以吸收二氧化碳。定期搖动烧瓶，每隔 20—25 分钟进行一次碱的滴定。Д. А. 科米沙罗夫(Комиссаров, 1948)更进一步簡化了这个方法，他測定光合作用是采用 1.2—1.5 公升的普通錐形烧瓶，把曝光時間縮短到 7—8 分钟。这个方法驟看很簡單，如加以批判性的研究，則是很少适用于自然条件下的光合作用測定的，特別是經科米沙罗夫修改过的方法。不难計算，在充滿普通空气的 4 公升容积的同化烧瓶中約含二氧化碳 2 毫升。为了避免因 CO_2 的不足而人为地引起光合作用强度的下降，在試驗終了时， CO_2 的量应减少 25% 以上，即 0.5 毫克(Ничипорович, 1955; рис. 9)。假定，我們把植物叶片放入这种烧瓶，叶片面积为 25 平方厘米，光合作用强度为在 1 平方厘米上每小时 20 毫克 CO_2 。在理想扩散速度的条件下，可以用于光合作用的 0.5 毫克 CO_2 ，就是被該叶片在 6 分钟內所吸收了。然而，如約希(Joshii, 1928)，波西安(Bosian, 1933—1934)等的直接試驗所指出：在密閉系統的不流动的空气中，这种保証頗大扩散速度的理想条件是不可能的。因此，尽管，叶片得到的 CO_2 在理論上足以保証光合作用，但叶片实际上总是处在二氧化碳不足这种条件下。用这种方法測出的光合作用强度的絕對数值总是被人为地降低了，許多使用“同化烧瓶法”的植物生理学家所観測到的也确是如此。可見，只有在流动空气中，才有可能正常地供給同化叶片以二氧化碳。

从这个观点出发，較适于在自然条件下測定植物光合作用的是那样的方法和仪器，在这些仪器中，二氧化碳通过叶箱从叶子渗

出, 然后收集在同时执行抽吸器功能的贮气罐中。以上述原则为基础的仪器是隆德戈尔德(Lundegårdh, 1922, 1924)创造出来的, 并被长期地用于光合作用的生态-生理研究。在这种叫做“隆德戈尔德钟罩”的仪器中, 通过叶箱的空气直接被吸进注有碱性溶液的机械吸收器。B. П. 依兹沃希可夫(Извошиков, 1953)的方法与隆德戈尔德的方法原则上有任何差别, 他提议把植物不同叶片上面渗出的空气吸进有碱性溶液的烧瓶中, 然后测定碱所吸收的二氧化碳的数量。

上述各种方法的缺点在于, 在密闭系统中, 空气不流通, 碱性溶液吸收二氧化碳的过程非常缓慢。完全吸收二氧化碳是测定的最低要求, 但在这些方法中实际上都达不到这一点。

从上述可清楚看出, 只有当测定在流动的空气或气体混合物中进行, 才有可能根据碱性溶液所吸收的 CO_2 的测定来测量光合作用。气流是保证供应叶片以二氧化碳, 使碱性溶液完全吸收二氧化碳和克服箱内叶片过热所必需的。

在适当的工作方法情况下, 一系列测定流动空气(通过叶箱和吸收器所吸收的)中光合作用强度的仪器保证了这些条件。除了 B. A. 捷斯諾科夫(Чесноков)所提出的这类实验设备外, A. A. 里赫捷尔(Рихтер)等(Ничипорович, 1940; Ничипорович 和 Васильева, 1941; Н. Н. Иванов, 1946, 等等)还创造了供在自然条件下工作用的仪器(Костычев, Базырина 和 Чесноков, 1928; Красносельская-Максимова 和 Ордоян, 1929; Костычев 和 Кардо-Сысоева, 1930; Heinicke a. Hoffman, 1933 b, 等等)。

如前面所指出, 组成这些仪器的是: 3—8个叶箱和同等数目的吸收器、抽吸器或带测空气体积的电流计的泵¹⁾。这些部件的结构

1) 在 Н. Н. 依万諾夫(1946)、О. А. 华尔捷尔(Вальтер)、Л. М. 比涅维奇和 Н. Н. 瓦拉索娃(Пиневич 和 Варасова, 1957)、Ф. Д. 斯卡茲金、Е. И. 洛夫奇諾夫斯卡娅、М. С. 米列尔和 В. В. 阿尼基也夫(Сказкин, Ловчиновская, Миллер 和 Аникиев, 1958)等的实习教程中对在大气气流中测定光合作用的方法和某些仪器的结构都作了详细的介绍。

上面已經說明了。

現在簡述一下用上述仪器測定光合作用所必須的操作程序。

CO_2 含量(或光合作用强度)的測定过程分为 3 个阶段：1) 实驗室的准备工作；2) 野外工作；3) 实驗室的碱性溶液滴定。

實驗室的准备工作在于把吸收器中的空气去除二氧化碳和将滴定碱性溶液注滿吸收器。为此，用短管子把所有的吸收器联結起来。其中一个吸收器与盛碱石灰的柱管相接，或者注滿浓碱性溶液，然后，去除了 CO_2 的空气被吸进通过全部系統。当借助于不与外界空气接触的專門装置将吸收器中的空气完全去除了二氧化碳时，就将滴定碱性溶液注入吸收器。

带到野外的吸收器与叶箱和抽吸器(或电流計和泵)連接在一起。被研究植物的叶片放入叶箱。为了平衡叶箱和周围环境中 CO_2 的浓度，若干学者 (Bosian, 1933—1934, 等等) 建議在測定开始前几分钟把空气吸入未带吸收器的仪器系統。在这种准备工作之后，就把吸收器接上仪器系統，并开始測定工作。

为了正确地选择測定的条件，必須預先想一想，作試驗的叶片面积應該多大，曝光時間要多长，通过叶箱的气流速度應該多大。如前所述，被溶液吸收的二氧化碳的定量測定的精度，同化叶片的二氧化碳供应情况和叶片的可能增溫程度就是取决于这些条件的。A. A. 尼奇波罗維奇(Ничипорович, 1955)在前不久发表的一篇文章中曾正确地指出：为了准确地測定光合作用的强度，必須專門安排必要的气流速度以及曝光的时间。利用图 9 的图解就可以作到这一点。这个图解的依据是經驗中所确定的事实，即只有当叶片从被抽吸的空气中吸收的 CO_2 不少于空气中最初 CO_2 含量的 5% 和不多于 25% 时，才有可能进行多少比較准确的光合作用的測定。正确測定光合作用的这种条件范围在图解上用虛線表示。根据图解預先評定被研究植物光合作用强度的可能数值时，可以大致地选定这样的气流速度(以公升/1 平方厘米叶面計)，即用它可以得到較确切的測定結果。此外，从图解可以了解：在这种或那种气流速度下，可能測定光合作用强度的那些极限值。

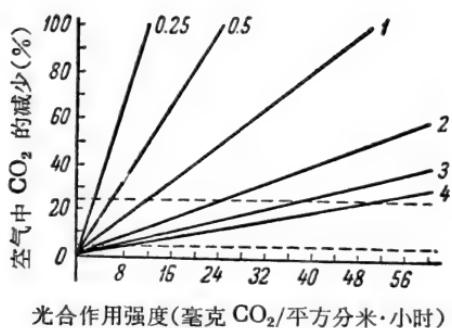


图 9 在不同气流速度和光合作用强度条件下空气中二氧化碳的减少情况 (設空气中 CO_2 的最初含量为总体积的 0.03%)。
(根据尼奇波罗维奇, 1955) 線条上的数字——空气流速(升/平方厘米)

而且工作不是对与植物分离的叶片进行,那么通常是在傍晚,在白天的所有观察结束后才量叶片面积。在许多专著中介绍了量叶片面积的方法(Frear, 1935; Петров и Гаврилов, 1939; Шардаков, 1939 等)。

全部野外工作结束后,吸收器挪到实验室,在那里根据普通实习教程所规定的方法进行碱性溶液滴定。为了计算光合作用的强度,可利用对照吸收器(空气中的 CO_2 含量)和试验吸收器中碱性溶液所吸收的二氧化碳数据。对照吸收器和试验吸收器中所测定的二氧化碳数量之间的差异,在考虑到曝光时间将其换算为相应的时间单位和叶片面积(或叶片重量)时,就是所求的光合作用强度。

从以上所述可知,这些测定光合作用的仪器实质上与实验室中的仪器装置很少差别。只有在邻近设有用以进行化学滴定的实验室的情况下,才有可能在自然条件下利用它们进行工作。

许多作者在力图避免进行溶液滴定的必要(实际在野外也不可能作这种滴定)时,研究了利用通过溶液的空气的二氧化碳对这种吸收性碱性溶液进行“自动滴定”(在溶液中加入指示剂)的可能性。显然,最先是由 B. N. 留比缅科提出了这个有趣的想法(Бриллиант, 1950:376)。测定光合作用时利用自动滴定的困难是要采

在自然条件下测定光合作用的强度,应注意箱内气温或箱内叶片温度的变化,并应记录外面空气的温度,光照强度和一般天气情况等。没有这些资料和不观察气孔的状况,就不能将研究结果作深入的室内整理。

测定结束后,必须标出曝光时间和通过每个吸收器吸收的空气体积。如果研究光合作用强度的白昼变化,

用非常弱的碱性溶液。例如, A. A. 尼奇波罗維奇和 H. И. 巴庫琳娜(Ничипорович 和 Бакулина, 1930)試驗根据酚酞的褪色時間确定光合作用的变化时,用的是 0.0001 当量浓度(H.)的溶液。当然,这样弱的溶液不能完全吸收气流中的二氧化碳,因为它们的吸收性能随着 pH 值的接近中性,而下降。如果用碱性較强的溶液,那么,自动滴定所須時間就要大大延长。此外,在弱碱性溶液中,酚酞顏色的变化很不显著,因此,很难捉摸褪色的时间。

在某些采用自动滴定法的工作中,特別是 B. П. 依茲沃希可夫和 C. Ф.涅戈維洛夫 (Извошиков 和 Неговелов, 1954)的方法,沒有考慮到上述的困难。

X. H. 波奇諾克 (Починок, 1958) 前不久发表的著作中提出自然条件下的光合作用定量測定法,这个方法的基本原則也就是自动滴定。作者建議把 100 毫升較强的重晶石滴定溶液和茴香油酞(用作指示剂)的混合物注入吸收器。在 pH 为 9.4,即在比酚酞的碱性(pH 8.2)較高的情况下,这种指示剂可以褪色。因此,如使用茴香油酞,在空气被很好噴散的情况下,当重晶石还可以吸收空气中所含的二氧化碳时,就能看出測定結果。作者的資料証明,用这个方法測定光合作用能达到完全令人滿意的精度。遺憾的是,这种仪器的份量很重,而且体积很大;其組成部分是 6—8 个安装在高架上的金属抽吸器,带有滤光器 (гляссфильтр) 的玻璃吸收器,测量空气体积的电流計和叶箱。因此,只有在固定的試驗地段工作时才可以使用。

現在来总结一下上述以計算碱性溶液所吸收的二氧化碳的数量(按照溶液滴定变化)为基础的各种測定光合作用方法的概述。

为了植物同化作用生态-生理研究的需要,制訂这类的方法是非常有益的。这样的工作实质上使几乎全部光合作用測定法,特別是使以二氧化碳定量測定为依据的各种方法的原則基础的認識深入了一步。有关保証正常供应植物同化器官以光合作用过程中所吸收的二氧化碳的各种因素的研究結果有特別重要的意义。例

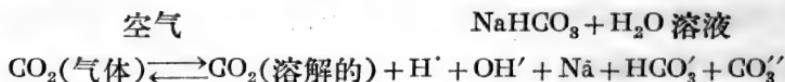
如，已經了解到：測定光合作用，特別是自然條件下的光合作用，只有在新鮮大氣氣流中才能進行，因為在空氣不流通的密閉系統中的測定所得出的結果是很少可靠的。

然而，這類方法的研究至今尚未創造出適於野外考察中研究光合作用的儀器。現有的一切儀器都不能在箱內葉片短時曝露的條件下測定光合作用，因為這往往會引起葉片過度增熱。要進行大規模的快速測定都不能用這些方法。此外，現有結構的儀器都有很大重量，並有一系列不適於在自然條件下進行工作的其它弱點。

因此，最近幾年來在自然條件下測定光合作用寧願採用我們下面要談的另外的一些方法。

根據測量指示溶液的 pH 值 以測定光合作用

近年來，人們積極地研究了以與二氣化碳相接觸的指示溶液的 pH 值測量為基礎的光合作用測定法。這類測定的原則在於：在某些情況下，在強烈稀釋的酸式碳酸鹽溶液與它上面的氣態二氣化碳之間可能處於平衡狀態。空氣中二氣化碳與溶液之間的這種平衡狀況可用下列方程式表示：



如果達到了平衡狀態，那麼溶液中氫離子 (pH) 浓度就相當於與這種溶液相接觸的空氣中的分壓。

三十年代里，芬蘭的物理-化學家高柯，卡爾柏格和薩雅尼耶米 (Kauko, 1932, 1934a, 1934 b, 1935; Kauko 和 Carlberg, 1935; Carlberg, 1936; Sajaniemi, 1936) 研究了強烈稀釋的酸式碳酸鹽溶液 ($0.001 N$ $\text{NaHCO}_3 + 0.099 N$ KCl) 的 pH 值¹⁾ 和 CO_2 (PCO_2)

1) 加氯化鉀是為了減少測定 pH 時的“鹽分修正”值。

分压之間达到平衡的条件。

正如实验所表明：如果碳酸气在 10—15 分钟內 通过溶液被吸收了， PCO_2 与氢离子浓度之間就可出現平衡。

在这个平衡系統中，pH 对 CO_2 分压有下列的經驗关系式

$$0.94 \cdot \lg P = a - \text{pH},$$

式中 P 表示溶液上面空气中的 CO_2 分压 (以大气压計)， a 值是随溫度而变化的常数。这样，测量了 pH 值 (7.2 至 8.5) 和溶液溫度之后，就可根据这个公式算出与这种溶液平衡了的二氧化碳的含量。

在上述实验的基础上制訂了空气中二氧化碳浓度的簡易測定法。

如果把吸收二氧化碳的同化叶片引入平衡系統，那么在空气和溶液之間就可能出現新的平衡状态。在新的平衡中，溶液的 pH 所升高的数值就相当于被叶片吸收的 CO_2 的数量。因此，根据試驗前后溶液 pH 值的差別，可以确定光合作用的强度。同样也可测出呼吸作用的强度 (这时，pH 值下降)。

早在奧斯特爾高特 (Osterhout 和 Haas, 1918) 就提出过利用这个原則来測定水生植物光合作用的强度。但只有在高柯和卡尔柏格的上述著作之后，才有可能把它用于陆生植物。奧尔維克 (Ålvik, 1939) 也曾这样作过，他根据指示溶液 pH 值的測定，提出了在自然条件下測定光合作用强度的方法。

用这个方法測定光合作用的程序可大致 归納 为下列几步手續。

将 2—3 毫升的 0.001 N. 酸式碳酸盐指示溶液 (0.001 N. $\text{NaHCO}_3 + 0.099 N. \text{KCl}$) 注入容积为 500—600 毫升的圓底烧瓶 (图10)，并在溶液中加入 2 滴 0.2% 的甲酚紅酒精溶液 (спиртовой раствор крезолрота)。将这种烧瓶挪近被研究的植物，并在植物旁边敞开几个小时，以使酸式碳酸盐溶液能与周围空气中的 CO_2 发生平衡。过了这个时间以后，对比溶液的顏色和带有指示剂的标准緩冲溶液的顏色 (見下)，借以确定溶液的 pH 值。然后，将被

研究枝条或植物叶片固定在瓶塞上，具有悬挂在溶液之上的叶子的烧瓶紧紧塞好，并将烧瓶重新置于植物生境的自然条件下若干小时。第二次测定溶液的 pH 值之后，计算叶片在曝光时间內所吸收的二氧化碳，然后，计算它的光合作用强度。

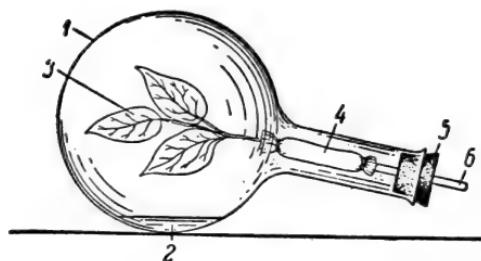


图 10 采列尔式同化烧瓶

1—烧瓶；2—酸式碳酸盐溶液；3—植物枝或叶；
4—潮湿滤纸；5—橡皮塞；6—玻璃棒。

从上面的概述可見，奧爾維克的方法很簡便，并且不須要复杂的仪器。这个方法的出現很快地引起了許多从事自然条件下植物光合作用研究的生态学家們的注意。在头一个时期，也和奧爾維克的工作一样，一般都是在必須測定很低的光合作用

(例如，溫度接近于零下，或光照强度很有限)强度时才用这个方法。例如，瓦尔特 (Walter, 1944—1949)、采列尔 (Zeller, 1951) 和克劳泽 (Krause, 1953) 用这个方法測量了針叶树种的冬季光合作用和呼吸作用。朗格 (Lange, 1953) 和布廷 (Butin, 1954) 研究了地衣的光合作用和呼吸作用，地衣的这种过程的强度也是很小的。无论奧爾維克，或者是瓦尔特 (Walter, 1951) 都未赋予所获得的結果以严格的定量意义，因为他們主要不是分析光合作用强度的絕對值，而是分析一定条件下植物的光合作用和呼吸作用之間的平衡发生变化所經歷的时间。这样，奧爾維克方法的最初形式不过是一种定性方法，只适于測定較低的光合作用强度。

在后来的工作中，奧爾維克对待自己的方法远不是 經常保持这种慎重态度，因此，无论在方式上，或者在分析上都引起了許多混乱 (Zelter, 1951; Силева, 1955; 等等)。

弗伦采尔 (Frenzel, 1955) 对这方法进行了批判性的研究，指出了在配制溶液和計算光合作用結果方面的一系列实际錯誤，并且这些錯誤被从一項工作又带到另一工作中 (Walter, 1944—1949;

Zeller, 1951; Paech u. Simonis, 1952; Krause, 1953; Butin, 1954; Farkas, 1954; Ничипорович, 1955; Силива, 1955)¹⁾, 于是, 清楚了这个方法的缺点真相。弗伦采尔对奥尔維克方法的主要反对意見在于, 烧瓶中, 空气和指示溶液中 CO_2 的含量沒有达到平衡, 即使实验延续时间很长(約 12 小时)也是如此, 而气体交换的强度却很低(0.2—1.6 毫克 CO_2 /小时)。这是因为, 在奥尔維克的方法中沒有通过指示溶液吸收被研究的空气, 如前述高柯和卡尔柏格的著作所建議的那样。因此, 烧瓶中植物叶片曝光时间的延长不仅不能保証空气和溶液中 CO_2 的分压力达到平衡状态, 而且, 首先是导致光合作用强度因二氧化碳的不足而大大降低, 正如在依万諾夫和科索維奇(Иванов 和 Коссович, 1946)的烧瓶中所发生的那样。后一种情况是完全可以理解的, 因为注入烧瓶的酸式碳酸盐溶液只有指示剂的作用, 根据它可測定氢离子的浓度。这种溶液, 以及烧瓶中的空气, 无论如何也不可能是什么足以保証植物同化叶片以二氧化碳的源泉²⁾。此外, 长时放在閉塞烧瓶中的叶片很快就处于完全不能与自然情况相比的小气候条件下。

上述的事实和設想使弗伦采尔可以完全正确地认为: 奥尔維克的方法和它的全部变体(都未考虑到通过指示溶液吸收空气的必要性)对光合作用的生态-生理研究是毫无意义的。尽管如此, 以指示溶液 pH 值的測定为基础的光合作用强度測定法的进一步研究是非常重要的。目前已經出現制定这些方法的两种可能。其中之一是 A. A. 尼奇波罗維奇(Ничипорович, 1955)提出的, 他建議增加注入同化烧瓶的酸式碳酸盐溶液的量。作者认为: 用这种方式, 酸式碳酸盐溶液不但可以用作同化作用所利用的二氧化碳的定量指标, 而且还是以这种空气供給同化叶片的源泉。評价这

1) 在所有这些工作中, 由于測定光合作用的偶然誤差而不利用或建議不用卡尔柏格溶液($0.001\text{ N. NaHCO}_3 + 0.099\text{ N. KCl}$), 而用 pH 值不同的 0.001 N. NaHCO_3 (或碳酸鈉)純溶液。此外, 这些工作抄錯了空气中 CO_2 含量与 0.001 N. NaHCO_3 溶液的溫度和氢离子浓度的依賴关系表。

2) 在容积 500 毫升的烧瓶的空气中約含有 0.25 毫克的二氧化碳, 而在 0.001 N. NaHCO_3 溶液中只有 0.16 毫克。

个建議時，必須注意，無論是進行準確的光合作用測定所必須的時間（通過這個時間，溶液和空氣之間二氣化碳的分壓建立平衡），或者是由溶液中釋出的二氣化碳的數量都取決於 CO_2 由液態向燒瓶的氣態空間的擴散速度。如弗倫采爾的資料和蘇聯科學院植物研究所光合作用實驗室的試驗（O. A. Семихатова）所證明的一樣，氣態空間和溶液之間的 CO_2 的這種交換速度原來比光合作用過程中二氣化碳吸收速度低得多。

因此，植物葉片，即使它的光合作用強度很小，只要它是放在燒瓶中，在最初幾分鐘的曝露時間內就要降低氣態空間中的 CO_2 含量。由於 CO_2 由溶液中釋出的速度小，所以光合作用將因二氣化碳的不足而受到限制，光合作用的強度也將下降。過一定時間之後，在光合作用強度和溶液中二氣化碳的釋出速度之間可能達到平衡狀態。但是，這種平衡狀態當然無論如何不能說明葉片光合作用的實際強度。它自己也是以葉片面積和溶液表面大小之間的關係，以燒瓶中液體的體積和氣態空間的比例，以溫度和其它偶然因素的變化為轉移。因此，A. A. 尼奇波羅維奇認為，用增加注入燒瓶中的酸式碳酸鹽溶液的量這個辦法不能達到對光合作用作正確定量分析的目的，這是完全正確的。

如果以瓦爾布爾格（Варбург）緩衝混合物溶液代替酸式碳酸鹽溶液和根據它們的 pH 值的變化（這比緩衝劑滴定合理一些）測定光合作用強度，上面各點見解也是適用的。與光合作用強度相比，密閉燒瓶中溶液和空氣之間二氣化碳的交換速度較小，所以不能採用這類方法來測定植物的同化作用。

為了提高空氣和液體之間的二氣化碳交換速度，可以採用攪拌，增加液體表面、氣態空間體積等之間的比例。然而，如弗倫采爾和其它許多資料所表明，所有這些措施實際上都不能使 CO_2 的交換速度增加到根據 pH 值的測量以測定光合作用所必須的數值。如根據高柯和卡爾柏格（Kauko u. Carlberg, 1935）測定氣體混合物中 CO_2 含量時所作的那樣，要在这方面達到如所期望的實際結果的唯一可能性是要通過酸式碳酸鹽溶液吸收空氣。最近以

来,正是在这方面进行了工作(Lange, 1956; Čatstý, Šlavík, 1958 a, 1958 b)。这些工作表明,根据上述原则創造一个简单的方法,在自然条件下既可测定强度小的,又可测定强度大的光合作用,是一项完全可以解决的任务。

上述的工作中,值得注意的是恰特斯基(Čatstý)和斯拉維克(Šlavík)在捷克斯洛伐克科学院植物研究所完成的两项研究。作者在其中第一项研究(Čatstý, Šlavík, 1958 a)中所提出的方法是奥尔維克方法的新变体:利用两头开口的同化烧瓶模型(图 11)。从图上可以看出,用这种烧瓶,不用取出叶片,在两次试验的间隔中可以更换空气

和溶液,并且,在
读数时,把指示
溶液倒入专门的
试管中,就可判
定溶液的颜色。
然而,这种变型
原则上并未消除
奥尔維克方法所
固有的缺点。

在第二项研究(Čatstý u. Šlavík, 1958 b)中,作者力图缩短空气和溶液中 CO_2 分压力之间建立平衡所必须的时间,于是,一般地放弃了用密闭的同化烧瓶来测定光合作用强

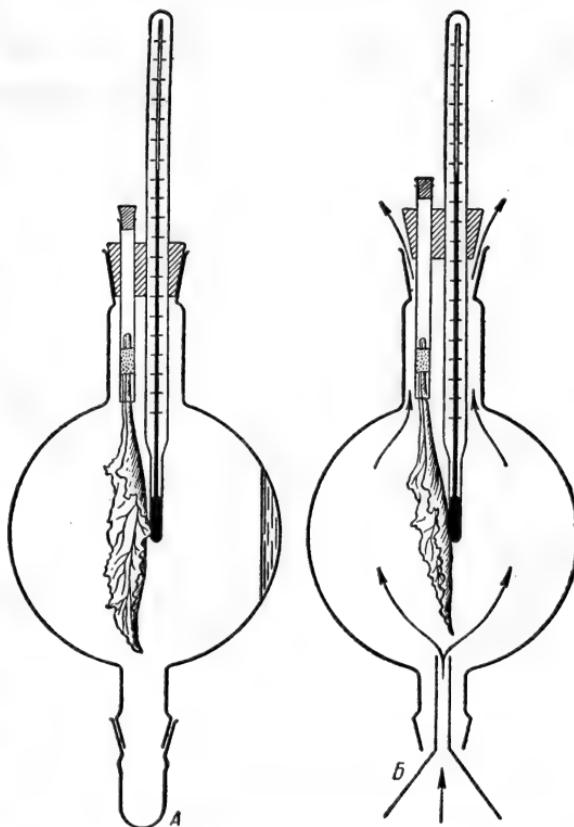


图 11 同化烧瓶(根据恰特斯基,斯拉維克,1958 a)

A——带有閉塞試管的燒瓶;

B——在各次曝露之間更換空氣。

度。代之以另一个方法：在这种方法中很成功地把在流动新鲜空气中测定光合作用的原则上的优点与简便得多的仪器结合在一起了。下面就詳細介紹一下恰特斯基和斯拉維克法中一个最便于研究自然条件下光合作用的一个方法。

組成测定光合作用强度所必須的仪器是：叶箱，测定指示溶液 pH 值的测定器，一套标准指示剂，吸收空气的小泵和根据刻度可以計算空气体积的电流計 (图 12)。叶箱是一个一端开口的袋子，用透明的聚乙烯貼成，袋子的大小以叶片的大小为轉移。未与植物分开的叶片和溫度計、T 形聚乙烯管一起装入叶片袋，通过 T 形管的末端吸收叶面上的空气。叶片袋开口的一端在叶柄附近摺上两角，并用迴形針別住。用橡皮管把聚乙烯管与测定器联接起来(图 13)。这种测定器是由高級白玻璃作成的管子 (高 20 厘米，

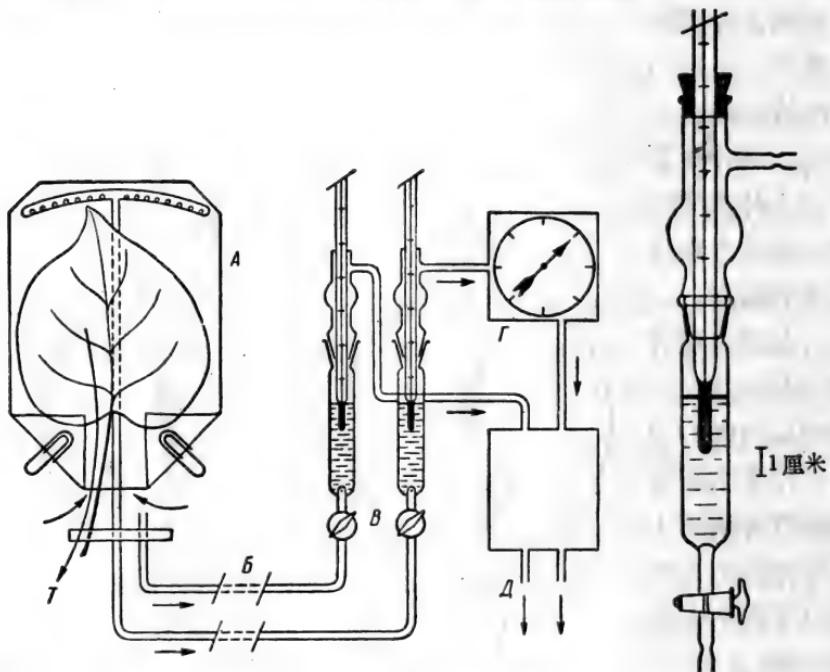


图 12 在气流中测定光合作用的装置图式(根据恰特斯基和斯拉維克,1958 b)

A——聚乙烯叶片袋；B——橡皮管(长数米，通向同化室)；
B——CO₂吸收器；Г——电流汁；Д——双重隔膜式泵
(电池供电)。

图 13 恰特斯基和斯拉維克的吸收 CO₂的测定器

直径 1.5 厘米)制成, 中部膨大呈球形, 上部有一个小排水管。測定器下部由玻璃开关关住。上端由聚乙烯塞子密封, 溫度計則通過塞子插入測定器。測定器上部的排水管被橡皮管与測量被吸收空气体积的普通毛发电流計, 进而与小型隔膜式泵 (4×2 厘米) 联接起来。为了測定光合作用(或呼吸作用), 应同时最少用两套上述的仪器进行工作, 其中一个測定植物周围空气中 CO_2 的含量(对照), 另一个在同化叶片吸收二氧化碳之后测定空气中剩下的 CO_2 的含量。仪器套数可以增加, 这样可以大大增加測定的次数。

恰特斯基和斯拉維克的全套仪器(图 14)由 4—6 个測定器和电流計以及同等数量的叶箱組成。每一对泵(图15)靠电压大約为 20 伏左右的直流电动机发动, 以 12 公升/小时的平均速度通过叶箱、測定器和电流計吸收空气。电动机的电源是供手电筒用的干电池(4 个电压为 4.5 伏的电池供給一个电动机)。电池每工作 40 小时换一次。仪器安装在一个很方便的、带有可折叠的小桌的硬鋁盒 ($22 \times 30 \times 32$ 厘米) 中。整套仪器和备用电池再加全套标准指示器的总重量約 3 公斤左右。工作开始前, 要先准备好碳酸氢盐指示溶液和一套标准指示剂。

如前所述, 酸式碳酸盐指示溶液是溶解在蒸餾水中的、酸式碳酸鈉 ($0.001 N.$) 和氯化鉀 ($0.099 N.$) 的混合物¹⁾。酸式碳酸盐溶

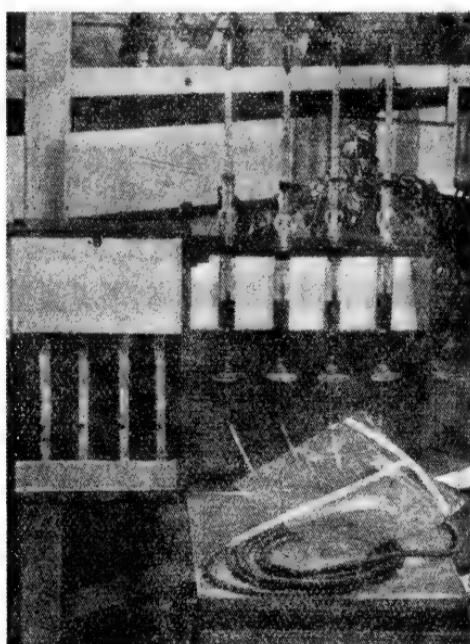


图 14 恰特斯基和斯拉維克測定光合作用的仪器

1) 0.084 克 NaHCO_3 + 7.381 克 KCl / 蒸餾水 1000 毫升。

液配好后,在溶液中加入(每1公升溶液20毫克)指示剂混合物,后者由甲酚紅(крезолрота, 20%-M乙醇中的0.1%)和茴香藍(тимолблау, 90%-M的乙醇中的0.2%)溶液組成。指示剂以1:1混合,用它們可以对氢离子浓度在7.5至8.6范围内的变化作比色測定,精度为±0.02 pH。当酸式碳酸盐溶液的pH发生变化时,这种指示剂混合物的顏色便由黃綠(pH 7.6)变到深蓝(pH 8.1)再变到紫色(pH 8.6)。

为了准确地測定pH值,必須有一套标准指示剂。为此,要配制两种原溶液(混合时形成硼酸盐-硼酸緩冲剂):

- 1) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (19.108克/1000毫升蒸餾水);
- 2) H_3BO_3 (12.45克) + NaCl (2.925克)/1000毫升蒸餾水。

以不同比例混合这些溶液,并在溶液中加入与配制酸式碳酸盐溶液时相同数量的指示剂(甲酚紅+茴香藍),于是,便得到一組具不同顏色和pH值的混合物。应每隔0.03个单位的pH值就有一組这样的混合物,因为,在空气中 CO_2 含量正常(0.5毫克/公升)的情况下,溶液中的pH約为8.2(溫度为20°时)。配制标准顏色指示剂,最好利用表2的数据,那里列举了不同比例的硼砂和硼酸溶

表 2 在不同比例的硼砂和硼酸溶液中的pH值*

(根据 Zeller, 1951)

pH	溶液量(毫升)		pH	溶液量(毫升)	
	硼砂	硼酸和氯化鈉		硼砂	硼酸和氯化鈉
7.5	13.0	87.0	8.2	35.0	65.0
7.6	15.0	85.0	8.3	39.5	60.5
7.7	17.5	82.5	8.4	44.5	55.5
7.8	20.5	79.5	8.5	49.5	50.5
7.9	23.5	76.5	8.6	55.0	45.0
8.0	27.0	73.0	8.7	60.5	39.5
8.1	30.5	69.5	8.8	67.0	33.0

* 溶液浓度同第329頁

液中的 pH 近似值。然而，各种标准顏色指示剂的准确 pH 值最好是用氢离子浓度測量計来測定¹⁾。

配好的混合物灌入(10 毫升)小玻璃瓶，瓶子的直径玻璃品种和壁的厚度与光合作用測定仪中的測定器相同。为了使測定器中的酸式碳酸盐指示溶液的顏色与标准指示剂的顏色能尽可能准确地进行对比，这是必要的。为了消毒，把一顆茴香油小晶体投入到盛有标准指示剂的每个小玻璃瓶中。然后，熔封玻璃瓶。在不进行光合作用測定的时候，标准指示剂保存于低温的暗处。当小玻璃瓶中溶液的顏色发生变化时，必須对照訂正 pH 值。如果溶液混浊了，就必须換用新的溶液。

根据恰特斯基和斯拉維克的方法測定光合作用，酸式碳酸盐指示溶液(10 毫升左右)要注入測定器中。被研究植物的叶片或枝条放入叶箱，挨着叶箱放置吸收空气的小管，以測定其中二氧化碳的浓度(对照)。接通小泵后，空气的小气泡就可通过酸式碳酸盐指示溶液。由于强烈的混合，仅在最初的4—7分钟內，对照測定器和試驗測定器气流中 CO_2 的分压力和酸式碳酸盐指示溶液的 pH 之間就达到了完全的平衡，正如高科(Kauko, 1935)和朗格(Lange, 1956)的試驗所表明的那样。过10分钟，切断小泵，关上开关，通过与标准指示剂的对比，确定对照測定器和試驗測定器中溶液的 pH 值。进行測定时，要記載溶液的溫度、通过叶箱的气流的溫度和速度(电流計上的标度是公升/小时)²⁾。通过測定器上开关的运动可以記載气流的速度。这样，使我們有可能根据溶液 pH 值的变化来注意，使通过叶箱的空气中的二氧化碳(在光合作用过程中被吸收的)不致减少25—30%以上。此外，調節通过对照測定器和試驗測定器的气流的速度，可以这样准确地确定各測定器中指示溶液 pH 值的差別，以致足以保証精确地对叶片所吸

1) 在 H. H. 依万諾夫(Иванов, 1946), O. A. 瓦爾特, M. M. 比涅維奇和 H. H. 瓦拉索娃(Вальтер, Пиневич и Варасова, 1957)的試驗教程和許多專門指南都介紹了測定 pH 的電測法。

2) 为了測定空气(对照)中 CO_2 的含量，没有必要測定它的体积。

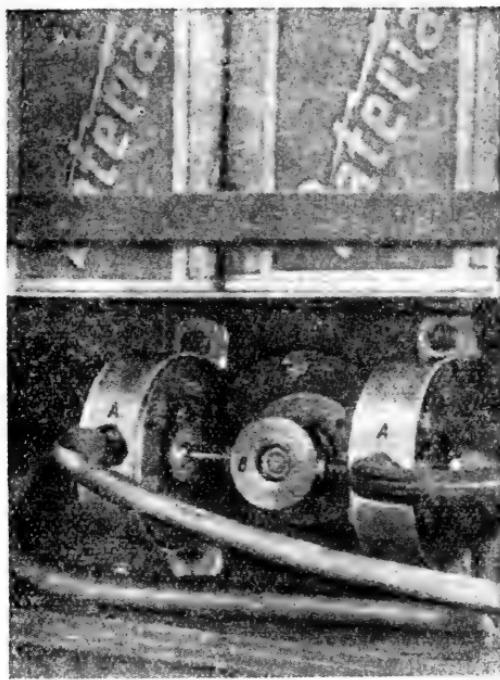


图 15 恰特斯基和斯拉維克的仪器中抽吸空气的
隔膜式泵
A—泵；B—泵的隔膜；C—馬达軸上的偏心輪；
Г—电池組。

朗格(Lange, 1956)算出的經驗曲綫系(图 16)可用来进行这步工作。

朗格曾提出下列在 CO_2 的分压力和与它发生平衡的酸式碳酸盐指示溶液的 pH 值之間的新的依賴关系：

$$1.02 \cdot \lg P = a - \text{pH}$$

或

$$\text{pH} = a - (1.02 \cdot \lg P)$$

此外, 他重新計算了溫度常数 a (图 17)。得出 P 的一定值, 并根据上列公式算出 pH 值, 就可以作 pH 值和空气中二氧化碳含量之間的依賴关系曲綫图。

假設对照測定器中酸式碳酸盐溶液的 pH 当溫度为 25°C 时等

收的二氧化碳的数量进行比色測定。因为測定器中酸式碳酸盐指示溶液的性质在空气滲入时不会发生变化 (除非水分蒸发引起了浓度的某些变化), 可以作 5—6 次測定而不更換它。仪器和特別是指示溶液和标准溶液應該遮阴, 防止太阳直接輻射。

为了計算光合作用的强度, 首先必須根据 pH 值求出通过对照測定器和試驗測定器的空气中所含二氧化碳的数量。恰特斯基和斯拉維克根据

于 8.06 ± 0.02 ，根据图 16 的曲线，可以看出， 25°C 时，与酸式碳酸盐指示溶液发生平衡的空气中含有 0.821 ± 0.036 毫克 CO_2 /公升。在试验测定器中，溶液温度为 26°C ，查出的 pH 等于 8.21 ± 0.02 。这个数值与 0.580 ± 0.028 毫克 CO_2 /公升相符合。可见，叶片从每公升空气中所吸收的二氧化碳是 $0.821 - 0.580 = 0.241$ 毫克。由此，知道了通过叶箱的空气体积，叶片的面积或重量和它的曝光时间，根据普通公式就能算出光合作用的强度。

上述例子表明，在两种情况下测定 CO_2 数量的误差平均为 $\pm 5\%$ ，根据恰特斯基和斯拉维克的资料，最大误差也不超过 $\pm 10\%$ 。大多数其它最精确的方法也是一样，测定光合作用强度（按对照测定器和试验测定器中测得的 CO_2 数量之差计算）的相对误差一般是 20% 左右。这里还应加上在测定吸收空气体积时所产生的误差，后者大约等于 $\pm 5\%$ 。

上述方法的主要优点在于，由于新鲜空气通过酸式碳酸盐指示溶液的积极渗入，就有可能比较快地（过 5—10 分钟）在该空气

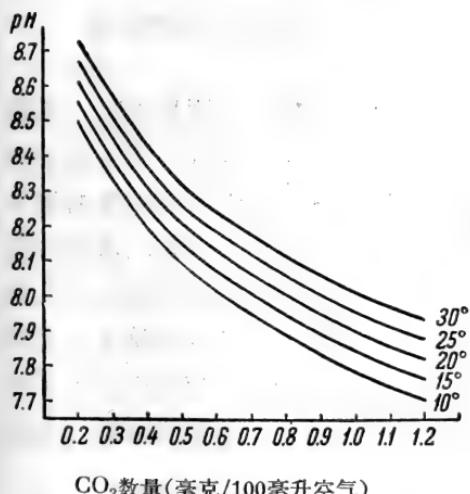


图 16 $0.001\text{ N. NaHCO}_3 + 0.009\text{ N. KCl}$ 溶液的 pH 对同它接触的空气中的 CO_2 数量的依赖关系（根据 Čatský, Šlavík, 1958a）

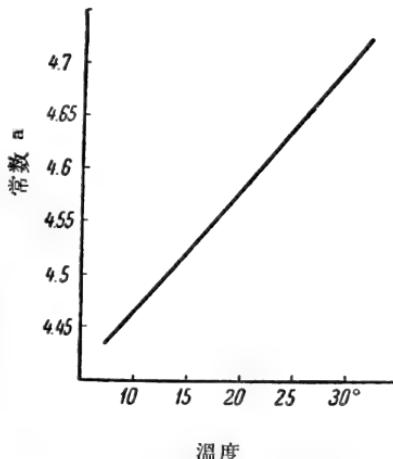


图 17 各种温度下的常数 a
(根据 Lange, 1956)

中 CO_2 分压和溶液 pH 之間达到稳定的平衡,因此,这种方法可以保証經常地和很有节制地供应同化叶片以二氧化碳,这样,不但有利于测定强度小的光合作用,而且有利用测定强度大的光合作用。此外,用这个方法提供在全部时间都有新鲜气流通过的叶箱中,叶片曝光較短的情况下测定光合作用的可能。因此,叶箱和自然条件下小气候因素的差別就大大减少了。最后,上述方法所遵循的测定光合作用的原則本身使我們有可能采用比較简单的仪器。可見,在恰特斯基和斯拉維克的方法中,成功地把在新鲜大气气流中测定光合作用的一切优点和测定光合作用强度的比色法的简单性結合了起来,这在植物自然生境条件下进行工作时是特別重要的。

这个优良方法的进一步完善應該是指望創造一种特殊結構的泵,它不但可以吸收空气,而且同时可以测定空气的体积。此外,必須寻求配制不因溫度和光照强度的变化而改变的标准指示剂的方法。同时,最好能有适当的仪器对光合作用强度的变化进行不斷的光电記錄。

根据碱性吸收溶液导电性的测量测定光合作用

下列各种测定光合作用强度的电測法都是以测量吸收二氧化碳的碱性溶液的电导率(或它的倒数——欧姆电阻)为基础的方法。这些所謂电导測定的原則的依据是:在其它条件相等的情况下,溶液的电导率或电阻取决于这种溶液中离子的組成、浓度和迁移率。如果溶液吸收二氧化碳,那么它的組成将发生改变,并且在吸收一定数量的二氧化碳之后,这种溶液中离子的迁移率将显然减小。因此,溶液的电导率变小,而电阻增大。在溶液中放上鉑金的或鍍鉑金的电极,并使它們与惠斯登电桥的电路和电源連接起来,就可以测定溶液的电导率数值。

惠斯登电桥(图 18)是一个补偿电路,它由 4 个电阻組成,其中一个(R_1)是未知电阻(溶液),一个(R_2)是已知电阻,还有两个(R_3 和 R_4)是可变电阻。可变电阻通常由标准电線(滑線变阻器)

作成,后者被滑动接触点(流动接触点)分为两部分。流动接触点的移动能改变可变电阻的比率,通过这一办法,就可以实现线路中电流各电位的平衡。如各电阻的比例相等,电流就不会通过电桥的指示电路。这时,任何电示仪(электроиндикаторный прибор),如检流计、电话机等,都可记录到线路

中没有电流。在这种情况下,电桥各电阻之间存在下列的比例关系:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}.$$

如果有一个电阻,例如 R_1 ,是未知的,那么就可从上列方程式算出它的数值,因为:

$$R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4}.$$

根据滑线变阻器的刻度(上面有电线长度的比例,指示器所指出的流动接触点的相应位置)可以求出电阻 R_3 和 R_4 的比值,电阻箱就是 R_2 。这样,就可以算出碱性溶液的电阻或它的电导率了。

凯因和马克思威尔(Cain a. Maxwell, 1919)曾利用这一原则来计算空气中二氧化碳的含量在熔炼钢时所发生的变化。1933年,斯颇尔和马克吉(Spoehr a. McGee)首次地把它用来计算光合作用的强度。从此,借助碱性吸收溶液电导率的测定来研究光合作用的方法在世界各国得到了广泛的研究。可以找出50来篇从不同角度改进光合作用和呼吸作用电导测定法的著作来。

不久以前,B. Л. 沃兹涅先斯基(Вознесенский, 1958年)曾将这些工作作了概述。因此,下面我仅谈一谈这类方法最重要的特点和分析它们的基本优缺点。

与前述的化学方法相比较,光合作用电导测定的主要优点在

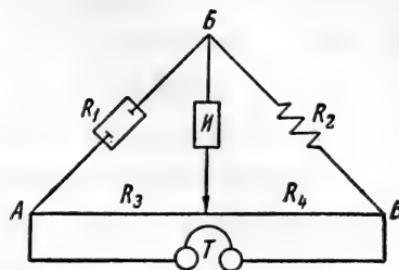


图 18 惠斯登电桥电路图
 R_1 —未知电阻, R_2 —电阻箱;
 R_3 , R_4 —可变电阻, H —电源;
 T —电话机。

于，可以直接在吸收器中迅速地测出溶液所吸收的二氧化碳的数量。这样，研究者就可以不去进行费时很多的碱性滴定，不要使用大量的溶液和玻璃仪器等。此外，在同一数量的溶液中（吸收器中的溶液不用更换）可以进行好几次测定。最后，根据溶液电导率的变化，对碱性溶液所吸收的二氧化碳进行定量测定，其准确度在一定的条件下可能比化学滴定高。因此，与其它许多研究方法比较，电导测定法在原则上可以借助于比较轻便的仪器对光合作用和呼吸作用强度进行快速而准确的大量测定。

这个方法在研究植物气体交换过程方面的实际应用方式的研究是根据好几个方向进行的。例如，由于托马斯（Thomas）及其同事的工作（Thomas, 1933; Thomas 和 Hill, 1937, 1949; Thomas, Hendricks 和 Hill, 1944）创造和利用了在定位条件下連續自动记录光合作用和呼吸作用变化的仪器（自动测定仪）。这种记录大室（里面包括好几个栽培植物小区）空气中 CO_2 含量变化的自动记录器，使作者们有可能收集关于一昼夜期间气体交换强度日变化和光合作用对于光照、温度及二氧化碳浓度的依赖关系等的大量实际资料。

戈尔德格依德、胡柏尔和斯托克尔（Holdheide, Huber 和 Stocker, 1936）建议在自然条件下研究植物的光合作用和呼吸作用时采用电导测定法。他们为此设计了轻便的野外仪器。自然条件下植物气体交换过程强度的电导测定法后来不止一次地得到了改进（Beiler 和 Schratz, 1937; Stocker, Rhem 和 Paetzold, 1938; Schandlerl 和 Bosian, 1939），并被广泛应用。

最后，在 1952 年，吴尔弗、布朗和戈达尔德（Wolf, Brown a. Goddard, 1952）测量了瓦尔布格仪器测压管中的电导率，这种仪器可以同时记录在光合作用中所发生的二氧化碳吸收过程和氧气的析出过程。

然而，尽管光合作用电导测定法的研究在各方面都有很大的成绩，但到现在为止还未被大量采用。这是由于这个方法存在着一个严重的缺点，即碱性溶液的电导率在很大程度上以温度为转移。

从最初的一些著作开始,所有的文献都指出:根据电导率定量测定被吸收的CO₂时,必須非常准确地(0.002—0.05°C)保持碱性溶液溫度的恒定性(Harvey 和 Regeimbal, 1926; Hoover, Johnston 和 Brackett, 1933; Brackett, 1935; Newton, 1935 等等)。为此,有人建議用套筒把盛溶液的吸收器围起来,使来自超級恒溫器(ультратермостат)的水流流过套筒。这样,仪器就要大大复杂化,在許多場合下,特别是在自然条件下进行工作时,这是完全不可能的。

为了避免使溶液保持恒溫,曾經提出了好几个繞弯的办法。例如,戈尔德格依德、胡柏尔和斯托克尔(Holdheide, Huber u. Stöcker, 1936)以及追随他們的一系列其他学者,建議在每次測定电导率时,根据放在吸收器中的溫度計上的讀数,記下碱性溶液的溫度。然后根据为每个吸收器和每一給出溫度确定的校准曲綫对电导率的改变作溫度訂正。弗里德曼(Fridmann, 1933)建議把电导率的所有測定結果都按下列公式換算为同一个溫度(18°):

$$K_{18^\circ} = \frac{K_r}{1 + C(T - 18^\circ)}.$$

这个公式中的 K_r 代表在吸收器中一定溶液溫度情况下所測得的溶液电导率, C —溫度系数, $= 0.02$ 。誠然, 弗里德曼的公式沒有考慮到: 无论在溫度改变时, 或者当吸收二氧化碳, 碱加剧轉化为酸式碳酸盐的同时, 溫度系数都是要发生变化。

我们认为, 在測量光合作用时实际采用上述溫度訂正的方法是完全可能的, 因为在这样的實驗中, CO₂浓度測定的精确度比起由于叶片的生物学不一致性所造成的誤差要高得多。然而, 在自然条件下工作时, 那里在測定电导率的時間內可看到溫度的显著变化, 进行上述的訂正完全必要, 但这要大大使工作复杂化。因此, 基于本測量原則的、在自然条件下研究光合作用的方法至今还未得到大量的推广, 而且, 近年来用这些方法所完成的研究工作也大大減少了。

尽管存在上述的情况, 目前在苏联的許多科学的研究机构还在

繼續研究自然条件下光合作用的电导測定法¹⁾。例如, B. Л. 沃茲涅先斯基(Вознесенский, 1958)在苏联科学院植物研究所光合作用研究室便研究了在測量碱性溶液电导率时避免进行溫度訂正的可能性。根据文献中为数不多的报导(Friedmann, 1933; Wolf, Brown 和 Goddard, 1952; Крюков, 1954)和自己的實驗研究, 沃茲涅先斯基建議在上述的惠斯登电桥的線路中用已知的标准电阻 R_2 来代替注入吸收器中那种碱性溶液的电阻。經過这种替換后, 把标准碱性溶液作如此的安置, 使它的溫度和吸收器中溶液的溫度的可能变化同时发生, 最后, 測定这些溶液的电导率的比率。从表 3 可清楚地看出改进方法的意图, 这个表說明了两份碱性溶液的电导率对溫度的依賴关系, 以及两种溶液电导率数值之間的比率对溫度的依賴关系。

表 3 两种碱性溶液电导率和它們的电导率比
率对溫度的依賴关系

(根据 B. Л. 沃茲涅先斯基, 1958)

溫 度	电 导 率 (1/欧姆)		两 种 溶 液 电 导 率 的 比 率
	第一 种 溶 液	第二 种 溶 液	
9.5°	0.0440	0.0305	0.694
16.5	0.0516	0.0357	0.694
20.0	0.0572	0.0398	0.698
24.5	0.0588	0.0410	0.696
34.5	0.0714	0.0495	0.694
41.0	0.0764	0.0532	0.696

从表 3 資料的分析可以看出, 尽管每种溶液的电导率与溫度有显著的依賴关系, 但是, 两种溶液电导率的比率在不同溫度下实际上都仍是一个常数。显然, 不超过 2% 的个别出入應該归因于测量的誤差。因此, 計算吸收二氧化碳的碱性溶液的电导率与标准溶液电导率之比, 实际上可以不考慮所获得結果对溫度变化的

1) 苏联科学院 K. A. 季米里亚捷夫植物生理研究所, 苏联科学院 B. Л. 科馬羅夫植物研究所和乌克兰植物生理研究所都在进行这个方向的工作。

依賴性。用电导测定法在自然条件下研究植物光合作用时，这一情况有很重要的意义。

我們有了上列的資料，現在可以轉而來叙述光合作用(或呼吸作用)强度电导测定的仪器和方法。我們就以 B. Л. 沃茲涅先斯基(Вознесенский, 1958)所提出的测定自然条件下光合作用的仪器(图 19)作为叙述的基础。

叶箱的形式可以根据叶片或枝条的大小和形状来决定。本仪器中叶箱是由有机玻璃作成，它被固定在仪器座上的活动三角架上。对照空气从叶箱开口的一端进入其內側壁上的玻璃管。

吸收器組也是用有机玻璃制成。它由两个(对照的和試驗的)具有公共內壁的吸收器($3 \times 3 \times 45$ 厘米)和位于两吸收器之間的标准測量眼孔($3 \times 3 \times 3$ 厘米)組成。在各吸收器的下部，为了噴散气流而粘上了一层玻璃滤紙№1。供給两个吸收器和測量眼孔的是面积为6平方毫米的白金电极，而且有3个电极(每个容器一个)由一根公共的电綫联接起来。这根电綫延长与測量电路的 E 点相接(图 20)。吸收器的另外两个电极輪流地接于

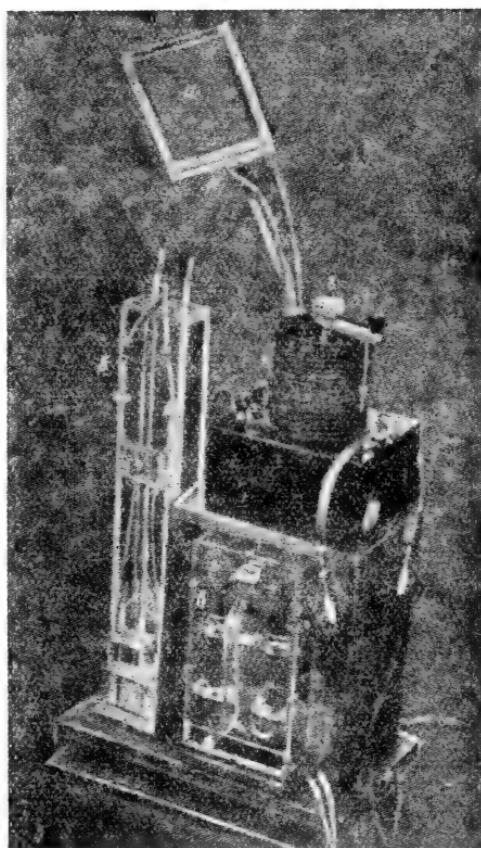


图 19 根据电导率的測量来测定光合作用的仪器
(根据沃茲涅先斯基, 1958)

a —叶室; b —吸收器組;
 c —泵; e —电測綫路。

这一綫路的 *A* 点, 經常接于 *A* 点的是标准測量眼孔的第二个电极。每个吸收器都有引入管和导出管, 其中一个与叶箱 (或者, 在对照吸收器中, 与空气) 相联, 另一个与泵相接。吸收器上部作有密合地关闭起来的口供注入溶液和冲洗水之用。与用化学方法測定光合作用一样, 这类方法中所利用的吸收器也应保証通过它們的气流中的 CO_2 能够完全被吸收。 CO_2 完全被吸收与否应預先測定。

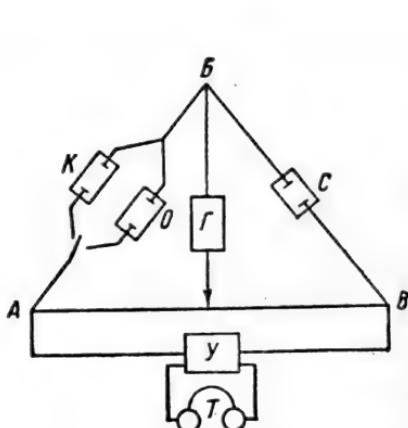


图 20 测量光合作用强度的惠斯登电桥的測量綫路

K—对照吸收器; *O*—試驗吸收器;
C—标准測量眼孔; *Г*—音頻振蕩器;
Y—放大器; *T*—電話机。

NaOH 时, 下降的数值沒有在 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液中那么容易計算。此外, 为此还得利用經驗的校正曲綫(見下面)。

然而, 在实践中应用鉻碱也有它的缺点。第一, 在吸收 CO_2 时从溶液中沉淀出来的 BaCO_3 微粒很容易以一层薄膜把电极盖起来并把滤紙孔堵塞。第二, BaCO_3 起初是部分地保留在过饱和溶液中, 約經 30—60 分钟之后发生全部沉淀, 只有在全部沉淀之后才会出現恒定的电导率。根据上述情况, 进行电导测量最好是用苛性鈉溶液。

这种溶液的必要浓度取决于吸收器的体积 和 紿 定 的 分析精度。吸收器的溶液量愈少和它的浓度愈小, 分析的精确度就愈高。

· 鈉碱(NaOH) 和鉻碱 [$\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$] 都可 用作吸收溶液。如果用鉻碱, 那么所形成的 BaCO_3 就几乎全部会从溶液中沉淀出来, 在恒溫下, 这种溶液的电导率变化实际上与碱的浓度成正比。如果用 NaOH , 那么所形成的碳酸鈉則仍在溶液中呈解离状态。因此, 一定量 CO_2 的被吸收所引起的电导率下降在 NaOH 溶液中比在 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液中微弱。用

然而,在这种条件下,一次注入吸收器的溶液所能进行的測定次数要減少。实际上用 0.01 N 的 NaOH 溶液較为方便,配制这种溶液可以用从碳酸盐中游离出来的純碱。母液用保险瓶保存起来,用專門的吸移管注入吸收器(每个准确地为 100 毫升)。在标准測量孔眼中也要注入这种溶液。为了有助于 CO₂ 的吸收,在吸收器的碱性溶液中还加入几滴丁醇。

在吸收器被注滿时,不容許溶液的滴定度因从空气中吸收了 CO₂ 而发生显著变化。但是,在注入过程中,吸收少量空气中的二氧化碳并不会带来什么害处,因为溶液的最初滴定度刚刚就是第一次測定电导率时的最初数值。上述的溶液浓度和体积使我們可以对光合作用强度一連作 6—7 次測定而不更換溶液。

进行光合作用的电导測定,可以采用各种能准确地测量放出的空气体积的泵。在沃茲涅先斯基的仪器中,制造泵是用两个医疗注射器,轉动手柄就可开动它的活塞。泵的活門是用真空橡皮管制成,而空气的量是根据脚踏轉數計的刻度来計算。活塞泵体的工作容积可能有所不同,但容积本身及其比例务必是固定不变的。为了計算被泵抽出的空气数量,每个泵体筒的容积应預先根据气量計来确定。知道了泵体的容积和活塞的轉数,就很容易計算通过每个吸收器所吸收的空气的数量了。如果手柄每分钟轉 60 轉,則泵通过叶箱和吸收器所吸收的空气为 30 公升/小时左右。

随着无线电測量技术的迅速发展,光合作用电导測量仪器的測量电路正在不断改善。

下面介紹一下沃茲涅先斯基仪器的应用方法。

当仪器接通时,在指示听筒中可以清楚地听到声音。根据惠斯登电桥的活动触头,就可在滑綫变阻器表示各可变电阻比值的刻度上找到这种声音衰减的狭窄区。得出的数字就是吸收器中碱性溶液的电导率数值,根据它就可計算光合作用的强度或空气中二氧化碳的含量。

在用上述仪器进行工作之前,其中每一个吸收器都应得到校正。为了可以确定对計算光合作用强度所必需的电导率变化与被

碱溶液所吸收的 CO_2 数量之的依賴关系，这样作是必要的。这种依賴关系曲綫对不同的吸收器(电极面积不同，它們之間的距离不同等)來說，并不完全相同。进行校正时，注入每个吸收器和标准测量眼孔中的开始是 0.01 N 的 NaOH 純溶液，用測量电桥测量吸收器和眼孔中的溶液的电导率比例。然后，吸收器中的溶液代以不同数量比例的 NaOH 溶液和 Na_2CO_3 溶液的混合物。对每种混合物都要测定它的电导率与最初注入标准测量孔眼中的 0.01 N NaOH 溶液电导率的比例关系。

上面已經指出， NaOH 溶液在吸收 CO_2 时所产生的电导率变化并不是直線性的。因此，如果将不同数量的 CO_2 加入到不同碱性的 NaOH 溶液中，溶液的电导率就有不同数值 的变化。这种情

况使校正曲綫的描绘一定地复杂化了，其横軸上表示的不是简单的电导率比例，而是它們与最初数值(在吸收器 0.01 N 的 NaOH 純溶液中的)的差异。纵軸上是以 Na_2CO_3 形式进入溶液中的 CO_2 的数量。

图 21 即为这种校正曲綫的实例。

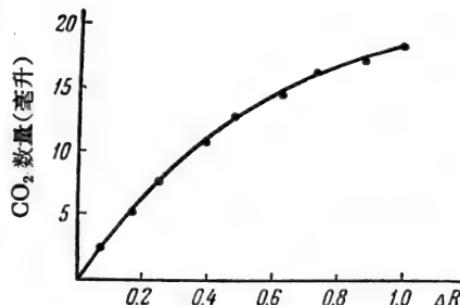


图 21 供計算被 100 毫升 0.01 N NaOH 溶液所吸收的 CO_2 数量用的校正曲綫

ΔR —溶液电导率的变化

現在簡述一下如何使用沃茲涅先斯基的仪器来进行光合作用强度的測定。

首先，必須校正仪器性能的准确度。为此，必須測定通过两个吸收器的，同样組成的空气中的二氧化碳浓度。把碱性母液注滿吸收器和标准眼孔之后，接通仪器的电路。改变滑动小件的位置，找出每个吸收器的声音衰減点，并根据滑綫变阻器刻度上的讀數，記下可变电阻的比值。这种数值即注入第一和第二个吸收器中的試驗母液的电导率，以后，我們就用 R_{hex}^1 和 R_{hex}^2 来代表它們。然后，轉动泵的水柄，在 10 分钟內就可通过两个吸收器吸取同一組成的

空气。第一次测定结束后,要記下轉數計所記錄的泵活塞的轉數。再根据滑綫变阻器刻度上的音声衰減点找出可变电阻的新比值,并記下我們吸收器上的这些数值,如 $R_{\text{оп}_1}^1$ 和 $R_{\text{оп}_1}^2$ 。計算由于溶液从空气中吸收了二氧化碳的結果而产生的 $\Delta R_{\text{оп}_1}^1$ 和 $\Delta R_{\text{оп}_1}^2$ 两值之差。这时, $\Delta R_{\text{оп}_1}^1 = R_{\text{оп}_1}^1 - R_{\text{исх}}^1$, 而 $\Delta R_{\text{оп}_1}^2 = R_{\text{оп}_1}^2 - R_{\text{исх}}^2$ ¹⁾ 根据得出的数值 $\Delta R_{\text{оп}_1}^1$ 和 $\Delta R_{\text{оп}_1}^2$, 利用校正曲綫, 求出被溶液吸收的二氧化碳数量 ($Q_{\text{оп}_1}^1$ 和 $Q_{\text{оп}_1}^2$)。这些数值除以放出空气的体积, 就可知道空气中所含二氧化碳的浓度。如果仪器的性能正常, 用第一个和第二个吸收器对 CO_2 浓度进行的測定應該得到相同或很相近的結果。如果这些結果彼此出入很大, 那么很可能, 仪器发生了什么故障(泵的活塞的伸縮性差, 活門坏了, 联結管漏气等等)。

如果仪器的性能确属正常, 就可开始測定光合作用的强度, 吸收器的溶液不用更換。我們把第一个吸收器作为对照的, 把第二个吸收器与叶箱联接起来, 并放进要測定的叶片。然后, 在一定的空气通过吸收器被吸收之后(空气体积根据泵活塞轉數計的指标計算), 与在空气中測定 CO_2 含量的作法一样, 我們重又測量溶液可变电阻的比值 ($R_{\text{оп}_1}^1$ 和 $R_{\text{оп}_1}^2$)。此外, 要記載叶箱中叶片的曝光時間, 确定它的面积或重量, 并觀測日照, 溫度等等。

因为吸收器中的溶液沒有更換, 因此在計算光合作用强度时, 首先应求出各溶液电导率数值在試驗后的差异以及母液电导率数值之間的差异 ($\Delta R_{\text{оп}_1}^1 = R_{\text{оп}_1}^1 - R_{\text{исх}}^1$ 和 $\Delta R_{\text{оп}_1}^2 = R_{\text{оп}_1}^2 - R_{\text{исх}}^2$)。根据这些数值, 并利用校正曲綫, 求出每个吸收器中 CO_2 的数量 ($Q_{\text{оп}_1}^1$ 和 $Q_{\text{оп}_1}^2$)。不过, 这个数量的 CO_2 是被溶液在两次連續的測定过程中所吸收的, 因为溶液沒有从吸收器中倒出来。所以, 为了闡明多少二氧化碳在第二次測定中被吸收了 (ΔQ^1 和 ΔQ^2), 应从 CO_2 的总量中減去在第二次測定空气中 CO_2 含量时被吸收的 ($\Delta Q^1 = Q_{\text{оп}_1}^1 - Q_{\text{оп}_1}^1$ 和 $\Delta Q^2 = Q_{\text{оп}_1}^2 - Q_{\text{оп}_1}^1$)。对照吸收器和試驗吸收器之間的这些数量差值表明; 被研究的叶片在周围空气中吸收了多少 CO_2 。把这个数字換算为通过叶箱放出的空气的体积, 叶片的面积或重量和

1) $R_{\text{оп}_1}^1, R_{\text{исх}}^1$ 等符号中的 оп_1 和 исх , 分別表示第一次試驗和母液。——譯者注

曝光时间,然后求出光合作用强度的数值。

因此,在吸收器中的溶液未更换之前,对光合作用或空气中 CO_2 含量的测定时,都必须:1)计算试验溶液和母液之间电导率指标比例的差异;2)根据这个差值,利用校正曲线,求出被溶液所吸收的二氧化碳的数量;3)从求出的得数中减去前面各次测定中被溶液所吸收的二氧化碳数量;4)用普通方法计算光合作用强度和空气中的二氧化碳含量。

谈到光合作用电导测定法的一般评价时,应该指出,在各种实验室和野外条件下研究光合作用,应用这种方法都是非常有益的。用光合作用电导测定仪,无论在新鲜大气气流中,或在通过密闭系统的气流中都可进行研究。利用电导测定法,可以以很大的准确度(25—30%)在箱内叶片曝光时间较短的情况下,进行大量的,一次接一次的光合作用和呼吸作用的测定,而且不要在每次试验之后进行滴定和更换溶液等复杂手续。电导测定仪,特别是沃兹涅先斯基利用了半导体三极管的仪器是用手电筒的电池来发动的。这种仪器经过进一步的设计和完善,其重量可以减轻到几公斤(2—3公斤)。

上述的一切证明:植物气体交换过程的电导测定法特别便于在自然条件下对植物进行生态-生理研究。

用红外线吸收自动记录器(URAS) 测定光合作用

称为URAS或红外线吸收自动记录器的这种新仪器在光合作用问题的现代研究中,特别是在乔木树种光合作用的生态-生理研究方面得到了愈来愈广泛的传播。

这种仪器常用于苏打工业,它的根据是早已周知的偶极气体吸收红外辐射的性能。早在麦克阿利斯特(McAlister, 1937)就试图利用这一原理来对光合作用的变化和叶绿素萤光现象进行同时观测。后来,从1949年开始,研究光合作用就采用了上述的标准仪

器。在埃格尔和埃恩斯特(Egle 和 Ernst, 1949)、胡柏尔(Huber, 1950)、埃格尔和申克 (Egle 和 Schenk, 1951)、司特鲁格和包麦斯特(Strugger 和 Baumeister, 1951)等人的文章中叙述了使用这种仪器的方法。

紅外綫光源、对照箱和测量箱、具放大綫路的隔膜电容器、自記器、吸收被研究空气的泵是仪器的基本部件。

测量箱空气中的二氧化碳和对照箱中的氮对紅外綫的吸收不同，从而辐射接受器中二氧化碳的分布也不相同。隔膜电容器能感受到二氧化碳压力的变化，它在这时改变自己的电容量，从而改变电路中的电压。专门的自記器可以纪录完全与二氧化碳浓度的变化相适应的电压变化。这种仪器可以测量接近于自然条件下的 CO_2 浓度，其灵敏度在 0.0005% 左右(就体积而言)。此外，与仪器相連接的还有泵和气体分配器。后者自动地把仪器依次地与 6 个叶箱中的一个联合起来，通过叶箱，空气以 2.2 公升/小时的速度被吸收。因此有可能

同时在 6 个試驗中測量光合作用(或呼吸作用)的强度。光合作用或呼吸作用的变化的記載每隔 6 分钟进行一次。这样，在仪器进行工作的一昼夜內可以自动纪录 1140 次测定。

图 22 援引了西伯利亚松的气体交换变化的这种整理好的纪录例子。从图上可清楚地看出，在日出之后光合作用是如何

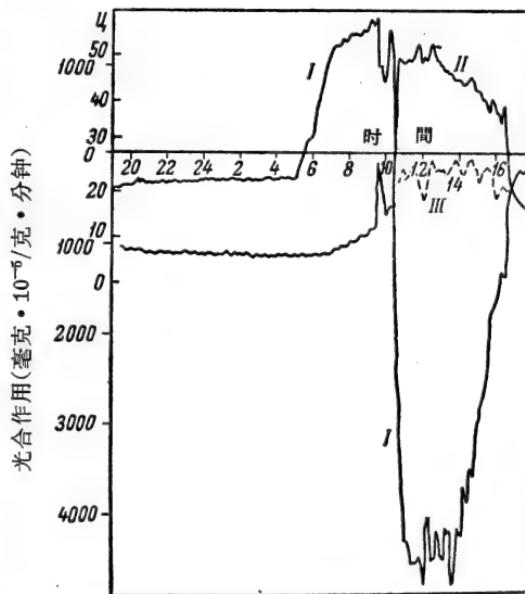


图 22 松树(I)光合作用强度和叶箱(II)內及周围空气(III)溫度的一昼夜变化
(根据 Tranquillini, 1954)

开始对夜间的呼吸作用占优势。在早晨 10 点钟之后,由于叶箱内温度的上升(在自然条件下未见这一现象),同化枝就开始强烈地排出 CO_2 ,一直继续到黄昏。

从这个例子应该作出结论:大量性和记录气体交换变化的自动性是红外线吸收自动记录器的最大优越性,这也是其它方法在目前无可伦比的。

然而,红外线吸收自动记录器是一种很复杂、对震动很敏感、重量和体积都很大的仪器。用含一定浓度 CO_2 的空气混合物来校准它,以及调节各个机组的性能,显然有很大的困难。在大多数的研究工作中,这种仪器是安装在实验室的主墙上,通过窗户用长约 30 米的软管(与叶箱相连)将它从实验室引到植物的生长地。不久以前,波尔斯特(Polster 和 Fuchs, 1956)在塔朗德(Таранд)林业研究所植物生理组曾试图把红外线吸收自动记录器改为蓄电池供电,把它安装在汽车箱壁上¹⁾。仪器改装后的研究结果我们目前还不知道。

因此,可以认为,尽管红外线吸收自动记录器有许多重要的优点,但它只能用于在设备完善的实验室中所进行的定位生理-生态研究。

根据放射性碳的吸收情况测定光合作用

在前面的叙述中已经指出,一些光合作用强度的测定方法不涉及到二氧化碳还原产物的质的组成和形成的有机化合物在植物体中的重新转移,这样的测定对描述光合作用这一综合过程来说是远远不够的。由于采用人工放射性同位素在解决各种生物学问题方面取得了进展,就产生了同时研究植物同化作用的这些不同方面的可能。大家知道,只有借助于示踪原子才不仅可能测定有机体从外界环境中所吸收的物质的数量,而且可能测定它在新陈

1) 根据 Г. 波尔斯特博士的报导,他的仪器重 20 公斤(不带蓄电池和一系列其它的装置),体积为 $40 \times 60 \times 12$ 厘米。

代謝反应中,以及在沿不同器官移动过程中的途径。此外,在采用同名元素的不同同位素进行工作的情况下,产生了把在相互矛盾的方向上同时进行的某些生命活动过程实验地分开的可能。光合作用和呼吸作用是这样的过程的例子。可见,应用示踪原子可以较深入地研究植物有机体中各种生理机能协调的复杂问题。

只是在 1939 年,示踪原子的方法才被鲁宾 (Рубен)、卡明 (Камен) 和哈西德 (Хассид) 首次地用来研究光合作用 (Kamen, 1949)。他们用的是碳的放射性同位素 C^{14} 。这种同位素的半衰期短 (22.5 分钟),这一点对研究工作很不方便。

1944 年以后,出现了利用碳的另一放射性同位素 C^{14} 的可能性, C^{14} 具有很长的生活持续期 (~ 5100 年)。这些同位素得到非常广泛的应用,特别是在探讨光合作用问题的工作中。

到目前为止,利用 C^{14} 研究光合作用的基本方向是阐明同化细胞中碳素的化学代谢过程的途径,寻找二氧化碳的受体,二氧化碳还原的最初产物等等¹⁾。

从方法论观点来看,这些研究大都是定性性质。它们可鉴定这种或那种有机物中是否有示踪碳存在,有时指出它的相对量,但都没有尝试过把光合作用过程所吸收的碳和在它的产物中所找到碳进行平衡。

苏联用放射性碳研究光合作用的定量法的探讨是由苏联科学院植物研究所光合作用研究室协同塔吉克苏维埃社会主义加盟共和国科学院帕米尔生物站开始的。此外,这些研究人员集体以及苏联科学院植物生理研究所光合作用研究室 (Жолкевич, 1955; Новицкий, 1956; Семененко, 1957) 还制订了无论在实验室条件下,或者在植物生活的自然条件下应用 C^{14} 对光合作用进行生态-生理研究的方法。

由于已经完成的工作,首先,确定了根据植物叶片所吸收的 C^{14} 的量计算光合作用强度 (即全部被同化的二氧化碳的数量) 的

1) 巴斯赫姆和卡尔文 (Bassham 和 Calvin, 1957) 的书是在这方面所完成的工作的许多概述之一。

可能性。其次，闡明了，利用放射性碳，可以进行光合作用强度与形成这些或那些有机物质（在化学計重分析时所分离出来的）所消耗的二氧化碳数量之間的平衡。这样，我們不但可以对光合作用的速度作定量研究，而且对在这一过程参与下所形成的产物組成以及它們在植物体中的輸送都可作定性分析。最后，已經确定，利用 C^{14} 可以定量研究各种植物的光合作用对光照、空气中碳酸气浓度和对溫度的依賴关系。根据这一切，可以作出結論：利用放射性碳研究光合作用的定量法（我們建議称之为放射計量法）今后无论在光合作用机制的研究方面，或者在探索这一过程的生态-生理学的許多問題时，都将得到广泛的应用。

光合作用强度的放射計量法是基于一个已經肯定的原理，即：被叶片所同化的放射性碳的数量与在光合作用时被吸收的碳的总量成正比。制定光合作用强度定量測定法所依据的試驗原則图式归結于：将植物在光合作用过程中所吸收的、已知比較放射性的

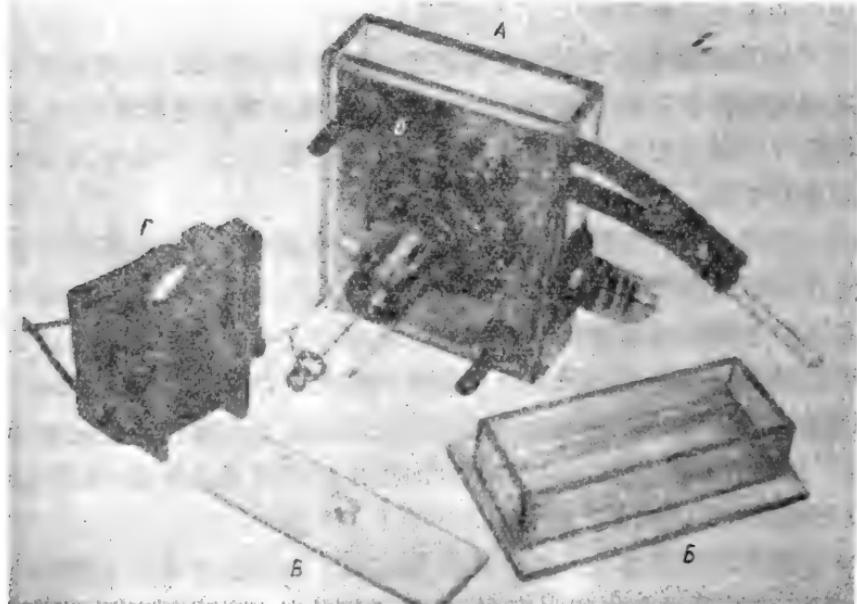


图 23 研究被植物吸收和排出 CO_2 的密閉箱（原圖）

A——箱的上面部分和計數器(a), 冷却器(δ), 供混合箱內空气用的通风机(ε)和导气管(ε); B——箱的下面部分; B——隔开箱子上下部的衬垫; Γ——开动箱内通风机的电磁体

CO_2 的数量和从这些植物所制成的标本中的 C^{14} 的测定放射性相比较。

为了计算在光合作用过程中被吸收的示踪二氧化碳的数量，供试验用的这种或那种植物的叶子放在专门制造的有机玻璃密闭箱内(图23)。

这种箱子由可以拆卸的带孔隔板分隔为两部分。植物或植物个别叶片是这样插在孔眼中，使其根系或叶柄是处在箱的下部，而地上器官处于箱的上部。借助黄蜡、松香和凡士林作的灰泥使箱的上下部完全绝缘和密闭。为了引入放射性二氧化碳，箱子有一条专门的小橡皮管。 β -粒子钟形计数管固定在箱的侧面，这一侧壁上有专门的孔眼。在箱的内部，在离孔眼一定距离的地方有一块防止计数管免受阳光和植物所吸收的 C^{14} β -粒子的直接影响的板。为了混合箱内的气体混合物，有一个通风机，它依靠马达 СД-60 (约速)发动的电磁铁转动。

箱子在黑暗中充以 $\text{CO}_2 + \text{C}^{14}\text{O}_2$ 的混合物(占体积的 1 %)，混合物中的原放射性是 5 微居里 / 1 公斤混合物，或为 0.5 毫居里 / 1 公升二氧化碳。然后，数次测定气体混合物的放射性¹⁾，并根据气体混合物脉冲次数与 CO_2 浓度的关系曲线(Заленский, Семихатова и Вознесенский, 1955) 准确地计算箱中的最初二氧化碳浓度。然后，用 3H 灯泡(500 瓦)透过滤水管照耀箱内的植物叶片并在全部试验期间测量二氧化碳的浓度。曝光完毕后，用沸酒精将植物固定，并作出植物的标本。根据箱内 CO_2 浓度曲线确定这种气体的最初和最终数量，从两个数值之差确定植物叶片所吸收的二氧化碳的数量。

其次，测定由处于箱内的植物作成的标本的放射性。它们的放射性也可由安放在离标本 1.5 厘米处的 β -粒子钟形计数管来测量。

为了计算标本的放射性，应根据计数器的本底和标本层中 β -

1) 许多专门指南(Камен, 1948; Бочкирев, Кеирим-Маркус, Львова и Преслии, 1953, 等等) 详细介绍了这种仪器所必须的放射性的测定法及其结果的计算方法。

粒子的自動吸收情況訂正最初讀數的結果。在每一個個別情況下，第二次訂正值都根據以蘇聯科學院植物研究所光合作用研究室所完成的多次實驗為基礎的曲線來確定。

如果試驗是取用較大的植物和許多準備好的粉末，那麼就要用它們作成好幾個標本。在這種情況下，在作了上述訂正之後將每一個標本的放射性相加起來。各個標本的放射性之和即代表試驗植物中 C^{14} 的總放射性（在 β -粒子計數器的參數情況下以脈沖/分鐘計）。

圖 24 說明了進行試驗（Вознесенский, 1955）的結果，從圖上

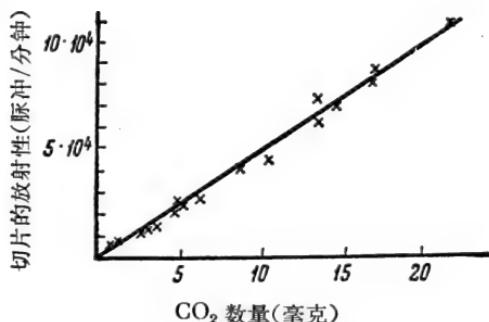


圖 24 一分鐘內脈沖總次數對植物所吸收的二
氧化碳數量的依賴關係（根據沃茲涅先斯
基，1958）

可以看出：如果原氣體混
合物的比較放射性一定，
植物總放射性數值嚴格地
與被吸收的二氧化碳數量
成正比。

為了根據葉片標本的
放射性計算光合作用強度
的絕對值，必須確定葉片
吸收的二氧化碳數量和葉
片作成的粉末的總放射性
數值之間的比例系數

(K)。因此，圖 24 所示的這兩個數值之間的關係可以寫成下列方
程式的形式：

$$N = \alpha K X,$$

式中 N ——總脈沖數/1 分鐘； α ——氣體混合物中二氧化碳的
比較放射性； X ——葉片吸收的二氧化碳的數量； K ——所求的
比例系數。

解此方程式求 K ，將其它數值代入（從圖 24），得

$$K = \frac{N}{\alpha X} = \frac{10 \times 10^4}{0.5 \times 20} = 10^4.$$

應用這個公式（解出 X ）來求植物光合作用強度時，我們應該將葉

片在放射性二氧化碳大气中的曝光时间(t)和它的面积或重量(S)引入公式。于是就得出了下列的计算光合作用强度(X)的公式。

$$X = \frac{N}{K \cdot \alpha \cdot t \cdot S}.$$

必须着重指出,只有在上述性质计数装置的情况下,才可根据图24的资料确定系数 K 为 10^4 。在每种具体场合都必须用实验来计算这个系数值,因为它随 β -粒子钟式计数器的个体特点及其对标本片的几何位置而有所变化。

这样,知道了由在一定比较放射性的 CO_2 大气中曝光过的植物或叶片粉末准备的标本的总放射性(脉冲/分钟),以及曝光持续时间和叶片面积(或它的重量),就可算出以毫克 $\text{CO}_2/\text{平方分米}\cdot\text{小时}$ 或毫克 $\text{CO}_2/\text{克}\cdot\text{小时}$ 表示的光合作用强度。非常重要的是:根据这样的公式,用专门的放射化学分析方法可以确定在光合作用过程中进入到各种有机物质(从在大气中同化 C^{14}O_2 的植物体中排出的)中 CO_2 (或C)的数量。为此,必须准确地计算排出物质的重量和放射性(脉冲/分钟)。根据这些数据,不但可以计算它们的比较放射性,而且可以计算进入这些物质中的二氧化碳(或C)的数量。

将排出物质中的碳进行定量平衡,就可以计算这些物质之间的碳的百分比,这对植物同化作用的生态-生理研究往往有重要的意义(Заленский, 1955; Филиппова, 1955)。

上述定量研究光合作用的放射计量法曾经经受过实验的检查。检查的办法是对比各种方法算出的光合作用的强度数值,其中一种方法就是放射计量法,其它是“在气流中”测定法和经改变适于测陆生植物叶片的瓦尔布格检压法。两种方法对植物的同一叶片或叶片的切割部分同时进行测定,得出的平均比值为 0.993 ± 0.125 (气流中测定法和放射计量法)和 0.998 ± 0.034 (压力计法和放射计量法)。这些结果说明:用这些不同方法所计算出的、被吸收的 CO_2 的数量是完全一致的,而12.5%和3.4%的误差完全是被比较的各种方法的误差。从上述的数据还可作出结论:某些学者(Van Norman 和 Brown, 1952)对其作用赋予重要地位的同

位素效应,在所采用的測量精确度的情况下并沒有被发现出来,并且实际上它不影响光合作用强度的测定結果。

用 C^{14} 研究光合作用的可能性之一是在于: 可以在放射性 CO_2 气流中测定它的潜在强度以及碳在植物 有机 物质 之間 的分配。在实验室,或者在植物的生活环境中,利用这种可能性来进行工作都特別方便(Заленский、Семихатова 和 филиппова, 1955)。为此目的,摘下的或未摘下的植物叶片(或枝条)放在相应的叶箱中,叶箱与貯气柜及泵或简单的橡皮梨形灌注器联合形成密閉系統,貯气柜中有浓度一定(1%)和比較放射性一定(0.5 毫居里/公升 CO_2)的 $CO_2 + C^{14}O_2$ 混合物。在自然条件下测定光合作用潜在强度的全部仪器重約 3 公斤(图 25)。在这种仪器中,气体混合物的气流被从貯气柜吸收进来,通过放有叶片的叶箱又回到貯气柜。叶片在 $C^{14}O_2$ 大气中曝光一定時間(10 分钟)之后,将叶片取下,用酒精固定,并将它作成标本。根据前述的方法計算光合作用的强度。在 O. B. 查連斯基(Заленский)、O. A. 謝米哈托娃和 B. Л. 沃茲涅先斯基的著作(Заленский、Семихатова 和 Вознесенский, 1955)中詳細地描述了这一方法,并分析了保証及时供应同化叶片以二氧化碳的条件(二氧化碳的浓度和比較放射性,气体混合物的流速,放射性緩冲溶液的应用等)。

本方法的基本特点如下: 1)用放射性碳測定光合作用; 2)測定工作在人造的大气中进行,在这里,光合作用不因二氧化碳的不足而受到限制,而且,这里二氧化碳的浓度不致在自然条件下那样发生显著的变化; 3)根据当时被吸收的二 氧化碳的絕對量計算光合作用的变化; 同时, CO_2 的数量直接在植物叶片中测出,而不是根据通过对照箱和叶箱的一定体积空气中 CO_2 含量之差; 4)如果研究光合作用的日变化,在每次測定之后,摘下植物叶片,并将它固定,但是,一般是用同一叶片来研究光合作用的白天变化。

这样,借助于上述方法,我們得到完全可以对比的关于在有二氧化碳保証的情况下光合作用强度的資料。B. H. 留比緬科(Любименко, 1935)和 B. A. 布利梁特(Бриллиант, 1950)称这种数



图 25 在放射性二氧化碳气流中测定光合作用强度的仪器
A——盛有放射性二氧化碳混合物的贮气柜; B——叶箱; Г——泵; Г——放叶片固定器皿的托盘。

值为叶片的潜在工作能力或光合作用的潜在强度。

在苏联许多科学的研究机关中,这种方法被用来比較評定自然条件下植物光合作用的潜在强度,研究光合作用过程中被吸收的碳的消耗动态和同化体的流出情况等等。如果把仪器的叶箱放在不同水溫(用超恒溫器保持)的水槽中,用这种方法可求得光合作用对于溫度的依賴关系曲綫,如果在这种情况下改变光照,就可得到光合作用对于光綫的依賴关系曲綫。

在含放射性二氧化碳的气流中测定光合作用强度还有其它仪器。例如,Ю. И. 諾維茨基(Новицкий, 1956)就介紹了一种有趣的仪器(图 26),在这种仪器中,同时利用 6 个活动的叶箱,它们被密封地盖在叶片上,并在叶表面划分出相等的面积。 $C^{14}O_2$ 的总供应源把这些叶箱联合在一起。放射性碳酸鋇放在注入烧瓶中的水层下面,以保証在使用仪器的好几个月內供应示踪二氧化碳。在每次試驗之前,用加入盐酸的办法分离出必要数量的 $C^{14}O_2$ 。此外,

仪器还有3个盛碱的烧瓶,它们可以排除在試驗之后留在叶箱和軟管中的多余的放射性二氧化碳,从而,使空气免于染污。仪器的所有这些部分与电力馬达发动的泵联合成一个密閉系統。作者指出,必要时,带馬达的泵可以用普通的手动泵或直接用橡皮梨形灌注器来代替,这在野外条件下工作特別方便。叶片在示踪二氧化碳气流中曝光后,通过干热烧死,把它作成标本,从标本中計算放射性。

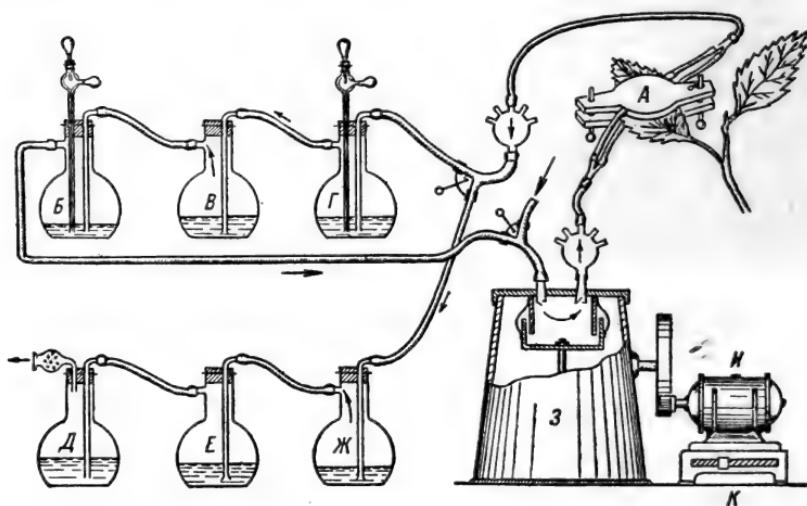


图 26 用 C^{14}O_2 在气流中研究光合作用的仪器略图

(根据諾沃茨基, 1956)

A——叶箱; Б—Г——分离示踪二氧化碳的烧瓶; Д—Ж——吸收在曝光后留在叶箱中的放射性二氧化碳的盛碱烧瓶; 3——泵; H——馬达; K——变阻器。

如果研究了空气中或叶片周围气体混合物中 CO_2 浓度和数量的变化,也可以用别的方法测定光合作用和植物进行的各种二氧化碳交换过程的强度。为此,我們建議利用如图 23 和 27 所示的不同結構的密閉箱。密閉箱的重要优点是可以連續不断地記錄吸收和排出二氧化碳两种过程的变化,必要时,还可以用自动記錄器来記錄。我們的研究确定,这种叶箱可以順利地用来研究植物叶片和其它器官吸收和排出二氧化碳的过程,用来确定光合作用

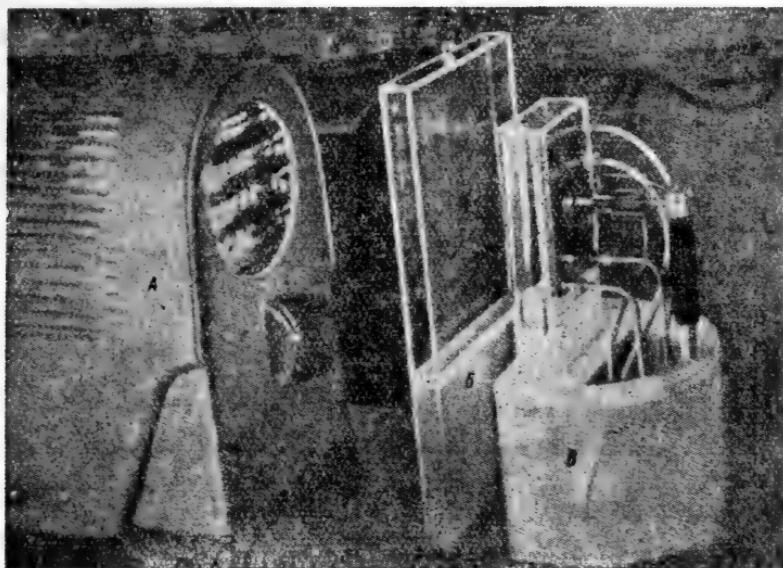


图 27 测定光合作用对光照强度和 CO_2 浓度的依赖关系的仪器
A——照明器；B——滤水器；C——密閉箱。

对二氧化碳浓度和光照强度的依赖关系。例如，根据气体交换性质研究光合作用和呼吸作用这两个方向相反的过程之间的关系时，就可以采用前面谈到的第一种办法。同位素法原则上给分开光合作用中被吸收的二氧化碳和由于呼吸作用所排出的二氧化碳提供了唯一的可能性。为此，把 C^{14} 预先示踪出来的叶片转放到盛有非放射性气体混合物的密闭箱内，在有光或黑暗的条件下记载箱内呼吸作用排出的示踪二氧化碳。

为了研究这些问题，为了测定光合作用对二氧化碳浓度和光照强度的依赖关系，设计了图 27 所示的仪器。在这里，借助于专门的卷帘式快门改变光照强度。与自动记录器相连的计算装置可以记载示踪二氧化碳的吸收和排出过程的变化。

测定光合作用对二氧化碳浓度的依赖关系是基于：叶片受到光照时，箱内二氧化碳浓度开始时几乎是直线下降，然后，下降速度减弱并达到零（图 28）。曲线上的直线线段（AB）说明：在 CO_2

的这些浓度范围内(图上是 0.28—0.05), 光合作用的强度不以二
氧化碳的浓度为转移。如根据这一线段计算光合作用强度, 可以
对比不同的植物, 不同年龄的叶片, 对比它们与光和其它影响光合
作用的因素的关系¹⁾。

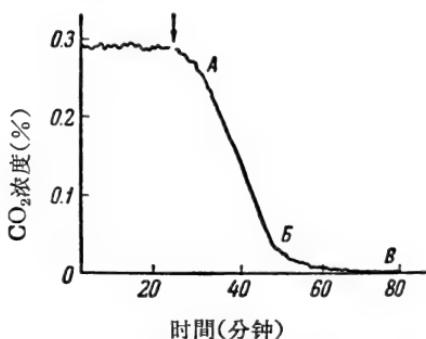


图 28 在櫟木叶片光合作用过程中, 密闭箱内 CO_2 浓度的变化 (自动记录器的照相记录)。

AB——曲线上的一段直线条段; BA——光合作用与 CO_2 浓度的依赖关系带中的曲线条段。小箭头——通光的时刻。

本身在光合作用期间就发生变化。

如果把所研究植物的叶片放入上述的密闭箱内, 并使箱内充满空气和示踪二氧化碳的混合物, 然后, 在不同光照条件下对光合作用进行一系列的测定, 那么, 根据获得的资料, 也不难作出这一过程对光照强度的依赖关系曲线。或者不同程度地关闭照明器(图 27 的仪器中)的百叶窗, 或者改变叶箱、照耀它的灯泡与叶片之间的距离, 都可使光照强度在预期的范围内发生变化。单位时间内被叶片吸收的 CO_2 的数量根据箱内示踪二氧化碳浓度变化曲线上直线条段(图 28 上的 AB 段)的倾角来计算。但是, CO_2 的浓度在试验时间内不应降到低于使光合作用饱和的浓度。借助于装在箱内的冷却器, 温度也可保持不变。对不同叶片获得的数据应换算

曲线上以后进程 (BB 段) 表明: 光合作用的强度开始随箱内 CO_2 浓度的不同而变化。知道了叶片面积和叶箱的容积, 根据该曲线上切线的倾角, 就可以计算任何 CO_2 浓度下的光合作用强度。

从前, 为了测定光合作用对 CO_2 浓度的依赖关系, 人为地制造了不同的二氧化碳浓度。利用密闭箱, 可以观察同一植物或叶片在短时间内的这一依赖关系, 因为 CO_2 浓度

1) 从图 28 可见, 在通光后的最初 5 分钟内, 檫木叶片的光合作用较低。植物在长期保持于黑暗中之后就出现这种现象。

为共同的面积或重量单位。

不久以前, B. E. 塞美年科 (Семененко, 1957) 提出了一种仪器, 原则上可以在自然条件下摄制一个植物叶片的光合作用对光照强度的依赖关系曲线。现在按照作者的叙述来简单介绍一下这个仪器。

组成这一仪器的是一个(或几个)叶箱和橡皮梨形灌注器或泵, 它们与某一种气态示踪二氧化碳源联合成为一个密闭系统。叶箱是两扇有机玻璃门, 在这玻璃门之间紧紧地夹着未摘下的植物叶片。气体混合物气流导入叶箱的方式应使它在叶箱内均匀地分布¹⁾。在其中一扇门(上扇)的内面粘有边缘磨得很尖的隔板, 把箱门分成 16 个面积为 2 平方厘米的个别单元。在每一个单元中嵌入已知光学密度的中性滤光片(玻璃的或筛形的)。个别滤光片的安置是这样的: 使它们形成两个相同的但彼此的方向相反的光楔, 8 个等级中的每一级都从全部黑暗到全部明亮。当这种叶箱迭置到叶片上时, 在曝光时间, 上述隔板的磨尖边缘不碰到叶片, 也不阻碍气体混合物的流通。叶箱固定到叶片上之后, 就把箱子遮暗, 数分钟(2 分钟)内, 示踪 CO_2 气流从此通过。曝光完毕后, 就重将叶片箱遮暗。然后, 用力夹紧箱门, 叶片即被尖锐的隔板切割成个别的小部分, 它们就在各种光照强度下进行光合作用。试验时, 用照度计测量光照, 然后计算投射到箱内叶片各个片段上的光照强度。迅速将各部分叶片进行固定并测定放射性。根据 94 页的公式计算光合作用强度。此外, 可以将整个叶片摘下, 得出它的放射性自动摄影照片和测量它各个片段的光度。这样, 测量了投射光的强度, 知道了中性多级光楔的每个单元的透光系数, 就可算出叶片各个片段进行光合作用时的光照强度。根据用一个未摘下的叶片同时测出的资料算出了光合作用强度值, 就可作光合作用过程对光的依赖关系曲线。

上述的一切情况说明: 放射性测定法无论在实验室或在自然

1) B. E. 塞美年科借助于放射性自动摄影术使气体进行均匀的分布。

条件下都可用来研究光合作用对外界因素的依赖关系。

总结本文的这一部分时,必须指出,用放射性碳研究光合作用的方法可以对这一过程的强度和被吸收的碳素参加形成各种有机物质的情况同时进行定量计算。在不同时间进行这样的测定,可以同时研究含有示踪碳的有机物质的代谢作用过程以及它们在植物体中的输送情况。改变进行光合作用所处的条件,可以同时研究光合作用强度和代谢反应对光、二氧化碳、温度等这些极其重要的外界因素的依赖关系。其次,应用 C^{14} ,配合碳的其它同位素,原则上可以分别开同时进行但方向相反的不同反应和过程。最后,放射性碳的生命持续期很长,非常有利于研究各种因素和条件对植物同化作用的影响和后果。因此,测定光合作用和呼吸作用的放射性法的最大优点就是可能同时研究代表植物生命活动这些极其重要过程的各种定性和定量指标的综合体。结合现代生理学和生物化学的其它方法采用这些方法的前途目前才刚刚显现出来;还有待今后通过深入的实验来研究和改进它们。

根据有机物质重量的增加测定光合作用

根据有机物质重量的增加测定光合作用强度是研究这一过程的经典方法之一。基于这一原则的方法是由萨克斯(Sachs, 1884)提出的。布鲁克斯(Brooks, 1892)用这种方法在自然条件下完成了光合作用强度日变化的最初测定。本法的最大优点是:在测定时,被研究植物的叶片不须关闭在叶箱中。此外,计重法可以用来实际判断植物同化-异化作用的总的重量结果。

大家知道,萨克斯法的依据是:由于光合作用的结果,植物叶片的重量增加,因为这里积聚了同化作用的产物。如果测定一直继续若干小时,用精密天秤可以称出增加的重量。在现代的经过修改了的萨克斯(Šetlík, 1954)法中,特别强调取一大批相同的叶片试样来进行测定的必要性,这对统计整理所获得的结果来说是必要的。所以,通常都是选择20片以上的植物叶子,这些叶子一

半切下,另一半和叶柄一起留在植物上。切下的半片叶子放在水中或潮湿的地方,在这种条件下保持到达最大膨压时为止。这样作是为了使单位叶片面积的重量尽可能是在它们的水分达到最大饱和的同等条件下进行测定。然后用穿孔器或专门的模具把叶片作成100个以上的等面积的切片。将这些切片分摊在一系列与所取叶片相对应的平行样品上,在玻璃称瓶中干燥到不变的重量,以便测定它们的单位面积重量。曝光结束后,把留在植物上的半片叶子切下,并称出其已知面积的重量。确定出来的在曝光时间内的重量增加换算为单位叶片面积的增加。对窄叶植物来说,可以预先选择大量的(100以上)尽可能相同的叶子来进行这样的测定。测出这些叶子切片的面积,比较它们在曝光前后单位面积的平均重量。C. B. 塔格也娃(Тагеева, 1941)曾经为小麦的叶片测定详细研究了这个方法。只有将总面积为数百个平方厘米的样品进行比较,就可获得多少比较可靠的测定结果。

然而,求出的重量差异还不能代表光合作用强度,因为叶片的重量变化决定于同化物的流出和呼吸作用。为了估计这些过程,所有测定都应作“黑暗”对照。除了试验样品外,还要取置于黑暗中的未切下叶片的平行样品。在某些情况下,为了校正同化物的流出情况,要环割叶柄或枝条。这一切都是技术上的重大难题。就是克服了这些困难,总也不能确信:在黑暗中的或环割叶片的同化物的流出和呼吸作用会与正常条件下一样。

计重法还有别的缺点。因为叶片各半部之间有很大的生理学和解剖学差异(试验时叶片面积的变化,伤口的影响等),测量光合作用计重法的精度是极其不够的。

为了稍许提高测定的精度和有可能估计光合作用在较短时间内变化,有些学者提出不测重量差异,而测糖含量的数量差异。古吞柏格(Guttenberg, 1931)用这种方法研究了爪哇等地热带植物的光合作用。新的用蒽酮试剂分析糖分的快速比色测定法使我们有可能进行糖分的大量测定(Šetlik, 1954)。除糖以外,为此目的,还曾试图利用全碳量的测定(Бородулина, Колобаева和

Зверева, 1955), 同化器官重量与其中所含灰分重量的比例的变化 (Holdheide, Huber 和 Stocker, 1936) 等。然而, 所有这些改进都未能消除計重法的主要缺点: 不能排除同化物流出的影响。許多著作 (Thoday, 1909; Базырина 和 Чесноков, 1932; Šetlik, 1954, 等等) 都詳細評价了薩克斯的方法和这个方法最近的一些修改形式。

“淨同化率”(нетто-ассимиляция) 測定法对于評定光合作用在植物有机物质的积聚和植物产量方面的作用是很有意义的。这个方法基本上是罗塔姆斯特德研究站 (Ротамстедская станция, 英国) 为了評定农作物生产率因素而制訂出来的。近年来, 它在苏联被成功地用来分析提高产量的問題 (Ничипорович, 1955)。

測定淨同化率的办法是定期选择整株植物样品, 計算它們的总干重, 各种器官的重量和同化表面的面积。因为不同植株的生理差异比它們的叶片差异更大, 所以測定淨同化率必須选取許多植物材料, 只有将它們作仔細的統計学整理之后, 才能对測定結果作出結論。样品通常重复 10 次以上, 每一次重复大約有植物 100 株。在某些情况下, 样品就是在該种植物所占的一定单位面积上的所搜集的植物的总和。对每一种这样的样品都要确定总干重和叶片总面积。有时, 除总干重外, 还要算出植物各种器官的重量。每次取样品的時間間隔應該有这么久, 使得植物重量的变化能以必要的精确度計算出来。通常这种間隔是 7—10 天。在生长旺盛期間可以縮減到五天。試样重复的必要次数和取的間隔時間应根据每一具体研究对象的預先方法研究来确定。

計算淨同化率有好几种方式。当叶片的干重和面积在两次选出試样的時間間隔內是以恒定速度增长, 即发生直線变化时, 往采用其中最简单的一种方法。这时淨同化率或植物的純生产率可以从下列方程式求出:

$$A_{\text{总}} = \frac{M_2 - M_1}{(T_2 - T_1) \cdot \frac{1}{2} (J_1 + J_2)}.$$

在这个方程式中 $A_{\text{总}}$ 代表淨同化率或純生产率, $M_2 - M_1$ —

两次連續試样的干重差, $T_2 - T_1$ ——两次測定相隔天数, $L_1 + L_2$ ——計算时期最初和最末的叶片面积。如果在两次測定之間, 叶片重量和面积的增长速度是不恒定, 那么就应采用另外的, 以图解內插法为基础的計算方法。用威廉士(Williams, 1946)在他的著作中所描述的这种方法, 可以算出在較短時間間隔內生产率的变化。

淨同化率法中最大的和难以克服的缺点是: 它不能估算植物地下部分的重量变化。但是, 許多野生种正是地下部分是同化-异化作用的結果所形成的有机物质的主要貯藏室。因此, 测定个别植物和植物群聚純生产率的方法还需作进一步的探討, 特別是当应用于野生植物区系和植被的研究的时候。尽管如此, 用农作物所进行的試驗是有重大价值的。例如, 現在已經可以建議: 在研究地植物学样条时, 不仅测定植物物质的重量, 而且还测定植物的叶面面积。

在瓦特逊 (Watson, 1952) 和尼 奇波罗維奇 (Ничипорович, 1955)的概述文章中較詳細地介绍了純生产率的测定法。

結 論

本文对植物生态-生理研究中所采用的测定光合作用的各种方法作了批判性的分析和評論。

植物的同化-异化作用的这类研究的任务是多种多样的。这些任务首先在于在地球上植物界的巨大多样性之中, 查明那些在植物界长期演化过程中产生的, 其同化器官具有高額利用太阳能的潜在系数的有机体。对植物各种不同的种、生活型和生态类型以及植被类型的光合作用工作进行全面的定量研究, 就可評價它們在地球上物质和能量总循环中的参加程度。利用光合作用过程这个植物有机体与外界各种因素的关系的灵敏标志, 估計不同气候环境和植物群落环境中植物生产率的动态, 就可得到供因果分析植物分布的規律性, 它們在植被中的相互关系等那样的植物地理学和整个生物学的綜合問題的因果分析的資料。

前述各种光合作用的生态-生理研究方法对了解植物生命活动这个最重要过程的实质,即光合作用的机制和生理学問題,也是非常必要的。

因此,可以設想:与其它植物学科綜合一起进行的光合作用問題的生态-生理研究的发展在不久的将来将得到更多的注意。

在解决提出的任务时,产生着借助于說明这一过程特征的指标綜合体来研究光合作用的必要性。本文对这些指标所进行的簡短分析証明:为了評定植物种的同化活动,不仅需要比較地評价光合作用的强度。为此目的极其重要的是也知道光合作用的变化对外界环境基本因素的依賴关系、光合作用的潜在强度、日变化和季节变化的节律、被同化的碳在植物有机物质中的分配規律和同化物輸出規律。只有根据同化作用指标对植物进行这样的綜合分析才是了解这样或那样条件下植物生产率高低的原因的根据。

从上述可知,研究光合作用的方法也應該是綜合性的。

本文对研究光合作用强度的方法所作的分类和描述表明了現有前测定二氧化碳的方法的多样性。因此,根据叶子吸收的二氧化碳的数量测定光合作用,在目前,特别是对植物进行生态-生理研究时,乃是研究这一过程的一組基本方法。测定二氧化碳数量的許多方法都創造了完全适于在自然条件下对植物的光合作用进行大量快速测定的仪器。

尽管如此,在自然条件下测定光合作用的方法还远未尽善尽美,还有待进一步的研究,現在已經可以說:最近30年来在文献中得到积极討論的关于在植物生境中研究这一过程的可能性問題,显然,已經接近于初步解决。无论如何,以利用强烈的大气气流为基础的方法是在自然条件下研究光合作用的主要途径,这一点已很清楚。只有利用气流,才可以避免在光合作用过程中被吸收的二氧化碳强烈减少的情况,同时,配合专门的装备,还可預防叶片过度增热。

在气流中测定二氧化碳浓度的方法由于放射性測量技术、偶

极气体光譜学等方面成就而得到的发展表明：在野外条件下放弃碱性溶液的化学滴定有了可能。因此，利用現有的仪器不但在定位情况下，就是在野外調查时都可測定光合作用。目前，这些仪器中最好的一种是恰特 斯基和斯拉維克 (Gatský, Šlavík, 1958 a) 的以測定碳酸盐指示溶液 pH 值为基础的仪器和沃茲涅先斯基的利用碱性溶液电导率測定的仪器 (Вознесенский, 1958)。可以自动記載長時間內植物气体交換变化的紅外綫吸收自动記錄器在研究自然条件下的光合作用时在現代的實驗室中得到了传播。

近年来，人們在积极地探討应用碳的放射性同位素研究光合作用的方法。現在，根据这些方法已可对自然条件下和實驗室的光合作用潜在强度进行定量測定，并可比較簡單地測出光合作用对空气中二氧化碳浓度，光照强度和溫度的依賴关系曲綫。这些方法的优点在于：它給同时研究光合作用的质数量方面——光合作用产物的組成和輸送提供了可能性。

此外，測定植物純生产率的方法的研究取得了成就，这些方法現在被用来研究农作物产量的提高問題。如果得到了进一步的改进，它們将可用来研究自然植被和形成植被的建群种的生产率。

可見，現在已有各种各样的方法可用于植物同化作用的生态-生理研究，毫无疑问，它們将在实际工作中得到更广泛的应用。

(李 恒譯 周佩珍、陈昌篤校)

参考文献

Базырина Е. Н. и В. А. Чесноков. 1932. Методы определения фотосинтеза в природных условиях. Тр. Петергофск. биолог. инст. вып. 9.

Бородулина Ф. З., Л. Г. Колобаева и Т. А. Зверева. 1955. К вопросу об определении фотосинтеза в полевых условиях. Тр. Инст. физиол. раст. АН СССР, т. 10.

Бочкарев В., И. Кеирим-Маркус, М. Львова и Я. Пруслин. 1953. Измерения активности источников бета- и гамма-излучений. Изд. АН СССР, М.

Бриллиант В. А. 1950. Методы учета фотосинтеза. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. IV, Экспериментальная ботаника, вып. 7.

Вальтер О. А., Л. М. Пиневич и Н. Н. Варасова. 1957. Практикум по физиологии растений с основами биохимии. 3-е изд. Сельхозгиз, Л.

Вознесенский В. Л. 1955. Количественные измерения интенсивности фотосинтеза при помощи радиоактивного изотопа углерода. Ботан. журн., т. 40, № 3.

Вознесенский В. Л. 1958. Измерение интенсивности фотосинтеза по электропроводности поглощающего раствора щелочи. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. IV, Экспериментальная ботаника, вып. 14. (в печати).

Вотчал А. Е. 1928. Метод непрерывного учета транспирации и асимиляции растений. Дневн. Всесоюзн. съезда ботаников в Ленинграде, изд. Гос. русск. ботан. общ., Л.

Вотчал А. Е. 1940. Камера для изучения газообмена у растений в условиях, приближающихся к природным, Докл. Акад. наук СССР, т. 29, № 7.

Вотчал Е. Ф. и И. М. Толмачев. 1926. Исследования по асимиляции CO_2 сельскохозяйственными растениями в природных условиях. Дневн. Всесоюзн. съезда бот. в Москве, Изд. Ассоц. н.-исслед. инст. при Физ.-мат. фак. I МГУ, М.

Глик Д. 1950. Методика гисто- и цитохимии. Изд. иностр. лит., М.

Данилов А. Н. 1941а. Механический аспиратор. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. IV, Экспериментальная ботаника, вып. 5.

Данилов А. Н. 1941б. Метод изучения транспирации одновременно с фотосинтезом. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. IV, Экспериментальная ботаника, вып. 5.

Жемчужников Е. А. и Ф. Д. Сказкин. 1925. Камера для изучения асимиляции в природных условиях. Изв. Донск. инст. сельск. хоз. и мелиор., т. 6.

Жолкевич В. Н. 1955. Применение меченого углерода в полевых условиях для наблюдений за передвижением асимилятов у пшеницы. Докл. Акад. наук СССР, т. 96, № 3.

Заленский О. В. 1954. Фотосинтез растений в естественных условиях. Вопросы ботаники, вып. 1, Изд. АН СССР, М.—Л.

Заленский О. В. 1955. О распределении углерода среди органических веществ, образующихся при участии фотосинтеза. Сб.: Сессия Акад. наук по мирн. использ. атомн. энергии, Засед. Отд. биолог. наук, Изд. АН СССР, М.

Заленский О. В. 1956. Об эколого-физиологическом изучении факторов продуктивности дикорастущих многолетних растений. Сб.: Акад. В. Н. Сукачеву к 75-летию со дня рождения, Изд. АН СССР, М.—Л.

Заленский О. В. 1957. О взаимоотношениях между фотосинтезом и дыханием. Ботан. журн., т. 42, № 11.

Заленский О. В., В. Л. Вознесенский и О. А. Семихатова. 1958. Исследования фотосинтеза при помощи количественных радиометрических методов. Доклады на Второй междунар. конфер. Организ. Объед. Наций по примен. атомн. энергии в мирн. целях. Изд. Инст. информ. АН СССР.

Заленский О. В., О. А. Семихатова и В. Л. Вознесенский. 1955. Методы применения радиоактивного углерода для изучения фотосинтеза. Изд. АН СССР, М.—Л.

Заленский О. В., О. А. Семихатова и Л. А. Филиппова. 1955. Новый метод изучения фотосинтеза в естественных условиях. Тр. Научн. сессии, посвящ. достиж. и задач. сов. биофиз. в сельск. хоз., Изд. АН СССР, М.

Иванов Л. А. 1941. Фотосинтез и урожай. Сб. работ по физиол. раст., посвящ. памяти К. А. Тимирязева, Изд. АН СССР, М.—Л.

Иванов Л. А. и Н. Л. Коссович. 1930. О работе ассимиляционного аппарата различных древесных пород. 1. Сосна. Журн. Русск. ботан. общ., т. 15, № 3.

Иванов Л. А. и Н. Л. Коссович. 1946. Полевой метод определения фотосинтеза в ассимиляционной колбе. Ботан. журн. СССР, т. 31, № 5.

Иванов Л. А. и Н. С. Коссович. 1948. Заметка о применении «ассимиляционной колбы» в лабораторных условиях. Ботан. журн., т. 33, № 1.

Иванов Н. Н. 1946. Методы физиологии и биохимии растений. 4-е изд. Сельхозгиз, М.—Л.

Извоцников В. П. 1953. Метод определения фотосинтеза в полевых условиях. Тр. Инст. физиол. раст. АН СССР, т. 8, вып. 1.

Извоцников В. П. и С. Ф. Неговелов. 1954. Прибор для определения фотосинтеза в естественных условиях. Изд. «Советская Кубань», Краснодар.

Комиссаров Д. А. 1948. Измерение фотосинтеза в колбе Эрленмейера в полевых и лабораторных условиях. Ботан. журн., т. 33, № 6.

(Костычев С. П., Е. Н. Базырина и В. А. Чесноков) Kostytschew S., K. Bazyrina und W. Tschesnokow. 1928. Untersuchungen über die Photosynthese der Laubblätter unter natürlichen Verhältnissen. Planta, Bd. 5, H. 5.

Костычев С. П. и Е. К. Кардо-Сысоева. 1930. Исследования над суточным ходом фотосинтеза растений Средней Азии. Изв. Акад. наук, № 6.

Красносельская-Максимова Т. А. и А. Г. Ордоян. 1929. К методике учета ассимиляции и устьичных движений в природных условиях. Тр. по прикл. бот., ген. и сел., т. 22, вып. 1.

Крюков П. А. 1954. Кондуктометрические методы в гидрохимических

исследованиях. Гидрохим. материалы, т. 22.

Любарская Л. С. и Б. Н. Макаров. 1950. К методике определения фотосинтеза и дыхания у целых растений. Докл. Акад. наук, т. 71, № 6.

Любименко В. Н. 1935. Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире. Сельхозгиз, М.—Л.

Насыров Ю. С. 1956. Фотосинтез и урожай хлопчатника. Тр. Акад. наук ТаджССР, т. 60.

Ничипорович А. А. 1940. Методы учета фотосинтеза в полевых условиях. Сов. ботаника, № 5—6.

Ничипорович А. А. 1953. Продукты фотосинтеза и физиологическая роль фотосинтетического аппарата растений. Тр. Инст. физиол. раст. АН СССР, т. 8, вып. 1.

Ничипорович А. А. 1955. О методах учета и изучения фотосинтеза как фактора урожайности. Тр. Инст. физиол. раст. АН СССР, т. 10.

Ничипорович А. А. 1956. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. Тимирязевские чтения, XV, Изд. АН СССР, М.

Ничипорович А. А. и Н. И. Бакулина. 1930. Упрощенный метод относительного учета ассимиляции CO_2 растениями в полевых условиях. Изв. по оп. делу Сев. Кавказа, № 5.

Ничипорович А. А. и Н. Г. Васильева. 1941. Прибор для определения фотосинтеза у растений. Докл. Акад. наук СССР, т. 31, № 3.

Новицкий Ю. И. 1956. Прибор для изучения фотосинтеза с помощью C^{14} в токе воздуха. Физиол. растений, т. 3, вып. 6.

Оканенко А. С. 1940. Ассимиляция углерода. Сб. «Свекловодство». Разд. III. Физиология сахарной свеклы, гл. 3. Гос. изд. колх. и совх. лит. УССР, Киев.

Петров Е. Г. и Н. И. Гаврилов. 1939. Прибор для определения площади листьев. Докл. Акад. наук СССР, т. 24, № 5.

Починок Х. Н. 1958. Установка для газометрического определения фотосинтеза в естественных условиях. Физиол. растений, т. 5, вып. 2.

Рихтер А. А. 1936. Поглотитель углекислоты для тока атмосферного воздуха. Докл. Акад. наук СССР, т. 2, № 7.

Сабинин Д. А. 1955. Физиологические основы питания растений. Изд. АН СССР, М.

Семененко В. Е. 1957. Камера с нейтральным оптическим клином для снятия световых кривых фотосинтеза. Физиол. растений, т. 4, вып. 5.

Силева М. Н. 1955. Колориметрический метод определения фотосинтеза и дыхания растений. Бюлл. Гл. ботан. сада, вып. 20.

Сказкин Ф. Д., Е. И. Ловчновская, М. С. Миллер и В. В. Аникиев. 1958. Практикум по физиологии растений. Изд. 5-е. Изд. «Совет-

ская наука», М.

Тагеева С. В. 1941. Динамика фотосинтеза озимой пшеницы при различном водоснабжении. Уч. зап. Сарат. гос. унив., т. 15, вып. 6, Биология.

Филиппова Л. А. 1955. Дневные и сезонные изменения интенсивности и продуктов фотосинтеза у растений Восточного Памира. Автореферат дисс. Л.

Шардаков В. С. 1939. Упрощенный способ определения поверхности листьев растений при помощи планиметра. Докл. Акад. наук СССР, т. 24, № 1.

Alvic G. 1939. Über Assimilation und Atmung einiger Holzgewächse im westnorwegischen Winter. Medd. № 22 fra Vestl. Forstl. Forsøkst., Bd. 6, № 4.

Andersson G. 1944. Gas change and frost hardening studies in winter cereals. Lund.

Aronoff S. 1955. Translocation from soybean leaves. Plant Physiol., vol. 30, № 2.

Aufdemgarten H. 1939. Zur Kenntnis der sogenannten Induktionsvorgänge bei der Kohlensäureassimilation. Planta, Bd. 29, H. 4.

Aufdemgarten H. 1939/40. Weitere Untersuchungen mit dem Gaswechselschreiber über die Kohlensäureassimilation. Planta, Bd. 30, H. 3.

Bassham J. A. and M. Calvin. 1957. The path of carbon in photosynthesis. New York.

Beiler A. und E. Schratz. 1937. Zur Methodik der CO₂-Bestimmung auf konduktometrischem Wege. Jahrb. wiss. Bot., Bd. 85, H. 3.

Boonstra A. E. H. R. 1930. Die nichtkontinuierliche Assimilation der Laubblätter unter natürlichen Verhältnissen. Planta, Bd. 10, H. 1.

Bosian G. 1933—1934. Assimilations- und Transpirationsbestimmungen an Pflanzen des Zentralkaiserstuhls. Ztschr. Bot., Bd. 26, № 1.

Boussingault M. 1869. Sur les fonctions des feuilles. Annal. sci. natur., sér. 5, t. 10.

Boysen-Jensen P. 1928. Über neue Apparate zur Messung der Kohlensäureassimilation, der Respiration, der Öffnungs—weite der Spaltöffnungen und der Beleuchtungsstärke. Planta, Bd. 6, H. 3.

Boysen-Jensen P. 1932. Die Stoffproduktion der Pflanzen. Jena.

Brackett F. S. 1935. Light intensity and carbon dioxide concentration as factors in photosynthesis of wheat. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, vol. 3.

Brooks W. 1892. Über tägliche und stündliche Assimilation einiger Kulturpflanzen. Halle.

Brown A. H., A. O. C. Nier, R. W. van Norman. 1952. Measurement

of metabolic gas exchange with a recording mass spectrometer. *Plant Physiol.*, vol. 27, № 2.

Burk D., A. L. Shade, I. Hunter and O. Warburg. 1951. Three-vessel and one-vessel manometric techniques for measuring CO_2 and O_2 gas exchanges in respiration and photosynthesis. *Symp. Soc. Exp. Biol.*, vol. 5.

Butin H. 1954. Physiologisch-ökologische Untersuchungen über den Wasserhaushalt und die Photosynthese der Flechten. *Biol. Zbl.*, Bd. 73, H. 3.

Cain J. R. and L. C. Maxwell. 1919. An electrolytic resistance method for determining carbon in steel. *Journ. Industr. a. Enginer. Chem.*, vol. 11, № 8.

Carlberg J. J. 1936. Bestämning av pH-värdet i utspädda bicarbonatlösningar vid olika CO_2 -tryck. *Acta forest. fenn.*, t. 42, № 3.

Cartellieri E. 1940. Über Transpiration und Kohlensäureassimilation an einem hochalpinen Sandorft. *Sitz. Ber. Akad. Wiss., Wien., Math.-naturw. Kl., Abt. 1*, Bd. 149. H. 3—6.

Čatský J., B. Šlavík. 1958a. Modifikace Álvikovy metody stanovení intenzity fotosyntézy v polních podmírkách. *Sborník Československé Akad. zemedelských věd. Rostlinna výroba*, ročník 4 (XXXI), číslo 1.

Čatský J. und B. Šlavík. 1958b. Eine neue Anwendung der CO_2 -Bestimmung nach Kauko zu Assimilationsmessungen. *Planta*, Bd. 51, H. 1.

Curtel G. 1890. Recherches physiologiques sur la transpiration et l'assimilation pendant les nuits norvégiennes. *Rev. gén. bot.*, t. 2.

Eckardt F. 1952. Rapports entre la grandeur des feuilles et le comportement physiologique chez les zérophytes. *Physiol. plantarum*, vol. 5, fasc. 1.

Eckardt F. 1953. Transpiration et photosynthèse chez un xérophyte mésomorphe. *Physiol. plantarum*, vol. 6, fasc. 2.

Egle K. und A. Ernst. 1949. Die Verwendung des Ultrarotabsorptions-schreibers für die vollautomatische und fortlaufende CO_2 -Analyse bei Assimilations- und Atmungsmessungen an Pflanzen. *Ztschr. Naturforsch.*, Bd. 46, H. 6.

Egle K. und W. Schenk. 1951. Die Anwendung der URAS in der Photosyntheseforschung. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, Bd. 64, H. 7—8.

Farkas G. L. 1954. Die toxische Wirkung einiger Zucker auf die Wurzeln der Pflanzen. *Zuckerantagonismus*. *Biol. Zbl.*, Bd. 73, H. 4.

Frear D. E. H. 1935. Photoelectric apparatus for measuring leaf areas. *Plant Physiol.*, vol. 10, № 3.

Frenzel B. 1955. Einige Bemerkungen zu der CO_2 Bestimmungs-

methode nach Ålvik. *Planta*, Bd. 46, H. 4.

Friedmann Ch. 1933. Die Konduktometrische Titration bei der Assimilationsbestimmung. *Ztschr. Bot.*, Bd. 26, № 2.

Gassner G. und G. Goetze. 1932. Über den Einfluss der Kaliernährung auf die Assimilationsgröße von Weizenblättern. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, Bd. 50a, H. 3.

Gessner F. 1955. Hydrobotanik. Die physiologischen Grundlagen der Pflanzenverbreitung in Wasser, Bd. 1. Berlin.

Guttenberg H. von. 1931. Beiträge zur Kenntnis der Laubblatt-Assimilation in den Tropen. *Ann. Jard. bot. Buitenzorg.*, 41.

Harvey R. B. and L. O. Regeimbal. 1926. A conductivity cell for continuous measurements of respiratory rate. *Plant Physiol.*, vol. 1, № 2.

Heath O. V. S. 1939. Experimental studies of the relation between carbon assimilation and stomatal movement. I. Apparatus and technique. *Ann. Bot.*, vol. 3, № 10.

Heinicke A. J. 1933. A special air chamber for studying photosynthesis under natural conditions. *Science*, vol. 77, № 928.

Heinicke A. J. and N. F. Childers. 1937. The daily rate of photosynthesis, during the growing season of 1935, of a young apple tree of bearing age. *Cornell Univ. Agr. Exp. Stat. Mem.*, № 201.

Heinicke A. J. and M. B. Hoffman. 1933a. An apparatus for determining the absorption of carbon dioxide by leaves under natural conditions. *Science*, vol. 77, № 55.

Heinicke A. J. and M. B. Hoffman. 1933b. The rate of photosynthesis of apple leaves under natural conditions, Pt. I. *Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bull.*, № 577.

Holdheide W., B. Huber und O. Stocker. 1936. Eine Feldmethode zur Bestimmung der momentanen Assimilationsgröße von Landpflanzen. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, Bd. 54, H. 2.

Hoover W. H., E. S. Johnston and F. S. Brackett. 1933. Carbon dioxide assimilation in a higher plant. *Smitsonian Miscel. Collect.*, № 87.

Huber B. 1950. Registrierung des CO_2 -Gefäßes und Berechnung des CO_2 -Stromes über Pflanzengesellschaften mittels Ultrarotabsorptionsschreiber. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, Bd. 63, H. 3.

Ingen-Housz J. 1779. Experiments upon vegetables, discovering their great power of purifying the common air in the sunshine and of injuring the accurate degree of salubrity of the atmosphere. London.

Joshii J. 1928. Untersuchungen über die Temperaturabhängigkeit der Kohlensäureassimilation bei Bohnen. *Planta*, Bd. 5, H. 5.

(Kamen M.) Камен М. 1948. Радиоактивные изотопы в биологии. Изд. иностр. лит., М.

Kamen M. D. 1949. Some remarks on tracer researches in photosynthesis. In: J. Franck a. W. J. Loomis (ed.). *Photosynthesis in plants*. Ames, Iowa.

Kauko Y. 1932. Das Bestimmen der Kohlensäure in der Luft. Vorl. Mittls. Suomen Komistilehti, Bd. 5, H. 1.

Kauko Y. 1934a. Zur Kenntnis des Systems Base-Kohlensäure-Wasser in verdünnten Lösungen. *Ann. Acad. sci. fenn.*, ser. A, t. 39, fasc. 2.

Kauko Y. 1934b. Zur Bestimmung der Kohlensäure in der Luft mit Hilfe von pH-Messungen. *Ztschr. angew. Chemie*, Bd. 47, H. 1.

Kauko Y. 1935. Ein Apparat zur potentiometrischen Bestimmung der Luftkohlensäure. *Ztschr. angew. Chemie*, Bd. 48, H. 3.

Kauko Y. und J. Carlberg. 1935. Praktische Ausführung der Kohlensäurebestimmung in Gasgemischen mit Hilfe von pH-Messungen. *Ztschr. analyt. Chemie*, Bd. 102, H. 3.

Koch W. 1956. Eine neue Methode zur Lösung des Küvettenproblems bei der Registrierung des Gaswechsels. *Naturwissenschaft*, Bd. 43, H. 4.

Krause W. 1953. Über den Einfluss winterlicher Bewässerung auf Bergwiesen des Schwarzwaldes. *Ztschr. Acker- u. Pflanzenbau*, Bd. 97, H. 2.

Lange O. L. 1953. Hitze- und Trockenresistenz der *Florae* in Beziehung zu ihrer Verbreitung. *Flora*, Bd. 140, H. 1.

Lange O. L. 1956. Zur Methodik der kolorimetrischen CO_2 -Bestimmung nach Ålvik. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, Bd. 69, H. 2.

Lundegårdh H. 1922. Neue Apparate zur Analyse des Kohlensäuregehalts der Luft. *Biochem. Ztschr.*, Bd. 131, H. 1/2.

Lundegårdh H. 1924. Der Kreislauf in Kohlensäure in der Natur. Jena.

(Lundegårdh H.) Люндегорд Г. 1937. Влияние климата и почвы на жизнь растений. Сельхозгиз, М.

Lundegårdh H. 1957. *Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben*. Aufl. 5. Jena.

Mason H. L. and P. R. Stout. 1954. The role of plant physiology in plant geography. *Ann. Rev. Plant. Physiology*, vol. 5.

McAlister E. D. 1937. Spectrographic method for determining the carbon dioxide exchange between an organism and its surroundings. *Plant Physiol.*, vol. 12, № 1.

Mitchell J. W. 1935. A method of measuring respiration and carbon fixation of plants under controlled environmental conditions. *Bot. Gaz.*, vol. 97, № 2.

Neuwohner W. 1938. Die täglichen Verlauf von Assimilation und Atmung bei einigen Halophyten. *Planta*, Bd. 28, H. 4.

Newton R. G. 1935. An improved electrical conductivity method for the estimation of carbon dioxide and other reactive gases. Ann. Bot., vol. 49, № 2.

Nutmann F. J. 1937. Studies of the physiology of Coffea arabica. I. Photosynthesis of Coffee leaves under natural conditions. Ann. Bot., N. S. vol. 1, № 3.

Osterhout W. J. V. and A. R. C. Haas. 1918. A simple method of measuring photosynthesis. Science, vol. 47, № 1217.

Paech K. und W. Simonis. 1952. Übungen zur Stoffwechselphysiologie der Pflanzen. In: Pflanzenphysiologische Praktika, Bd. 1, Berlin.

Pisek A. und W. Tranquillini. 1954. Assimilation und Kohlenstoffhaushalt in der Krone von Fichten (*Picea excelsa* Link) und Rotbuchenbäumen (*Fagus silvatica* L.). Flora, Bd. 141, H. 2.

Plaetzer H. 1917. Untersuchungen über die Assimilation und Atmung von Wasserpflanzen. Verhandl. Phys. med. Ges. Würzburg, Bd. 45.

Polster H. 1950. Die physiologischen Grundlagen der Stofferzeugung im Walde. München.

Polster H. und S. Fuchs. 1956. Verwendungsmöglichkeiten des Ultrarotabsorptionsschreibers für Assimilations- und Atmungsmessungen in Freiland. Biol. Zbl., Bd. 75, H. 5/6.

(Rabinowitsch E.) Рабинович Е. 1951a, 1953. Фотосинтез, тт. 1 и 2. Изд. иностр. лит., М.

Rabinowitsch E. 1951b. The World's energy supplies and their utilisation. Proc. Amer. Acad. Arts. a. Sci., vol. 79, № 4. (Conference on the Sun of the Service of Man).

Rither J. H. 1956. Interrelation between photosynthesis and respiration in the marine Flagellate, *Dunaliella euchlora*. Nature, vol. 178, № 4538.

Ruben S., W. Z. Hassid and M. D. Kamen. 1939. Radioactive carbon in the study of photosynthesis. Journ. Amer. Chem. Soc., vol. 61, № 3.

Sachs I. 1884. Ein Beitrag zur Kenntnis der Ernährungstätigkeit der Blätter. Arb. Bot. Inst. Würzburg, Bd. 3. H. 1.

Sajaniemi I. K. 1936. Ilman hillihapen määräämien. Zur Bestimmung der Kohlensäure in der Luft. Acta forest. fenn., t. 42, № 4.

Saussure T. 1804. Recherches chimiques sur la végétation. Paris.

Schanderl. H. und G. Bosian. 1939. Über einige Verbesserungen an der CO₂-Bestimmungsapparatur nach Holdheide—Huber—Stock-er. Ber. Dtsch. Bot. Ges., Bd. 57, H. 2.

Schimper A. F. W. und F. C. Faber. 1935. Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage, Bd. 1. Jena.

Šetlik J. 1954. Polní metody pro stanovený intenzity fotosynthesy.

V: Praktikum fytocenologie, ekologie, klimatologie a podoznalství.
Praha.

Smith J. H. C. 1943. Molecular equivalence of carbohydrates to carbon-dioxide in photosynthesis. *Plant. Physiol.*, vol. 18, № 3.

Spoehr H. A. and J. M. McGee. 1923. Studies in plant respiration and photosynthesis. *Carnegie Inst. Publ.*, 325.

Spoehr H. A. and J. M. McGee. 1924. Investigations in photosynthesis. An electrometric method of determining carbon dioxide. *Journ. Industr. Enginer. Chem.*, vol. 16, № 2.

Stålfelt M. G. 1935. Die Spaltöffnungsweite als Assimilationsfaktor. *Planta*, Bd. 23, H. 6.

Steemann-Nielsen E. 1955. The interaction of photosynthesis and respiration and its importance for the determination of C¹⁴-discrimination in photosynthesis. *Physiol. plantarum*, vol. 8, № 4.

Stocker O., S. Rehm and J. Paetzold. 1938. Beiträge zur Methodik der kurzfristigen Assimilationsmessung. *Pringsheim's Jahrb. wiss. Bot.*, Bd. 86, H. 2.

Strugger S. und W. Baumeister. 1951. Zur Anwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers für CO₂-Assimilationsmessungen im Laboratorium. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, Bd. 64, H. 1.

Thoday B. 1909. Experimental researches on vegetable assimilation and respiration. V. A critical examination of Sack's method for using increase of dry weight as a measure of carbon dioxide assimilation in leaves. *Proc. Roy. Soc. London, Ser. B*, vol. 82, № 552.

Thomas M. D. 1933. Precise automatic apparatus for continuous determination of carbon dioxide in air. *Industr. a. Enginer. Chem., Anal. ed.*, vol. 5.

Thomas M. D., R. H. Hendriks and G. R. Hill. 1944. Apparent equilibrium between photosynthesis and respiration in an unrenewed atmosphere. *Plant. Physiol.*, vol. 19, № 2.

Thomas M. D. and G. R. Hill. 1937. The continuous measurement of photosynthesis, respiration and transpiration of alfalfa and wheat growing under field conditions. *Plant. Physiol.*, vol. 12, № 2.

Thomas M. D. and G. R. Hill. 1949. Photosynthesis under field conditions. In: J. Franck a. W. J. Loomis (ed.). *Photosynthesis in plants*, Ames, Iowa.

Tranquillini W. 1954. Über den Einfluss von Übertemperaturen der Blätter bei Dauereinschluss in Küvetten auf die ökologische CO₂-Assimilationsmessung. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, Bd. 67, H. 6/7.

Uhl A. 1937. Untersuchungen über die Assimilationsverhältnisse und die Ursachen ihrer Unterschiede in der Gattung *Pinus*. *Jahrb. wiss. Bot.*, Bd. 85, H. 3.

Van Norman R. and A. H. Brown. 1952. The relative rates of photosynthetic assimilation of isotopic forms of carbon dioxide. *Plant Physiol.*, vol. 27, № 4.

Waller I. C. 1926. The katherometer as an instrument for measuring the output and intake of carbon dioxide by leaves. *New Phytologist*, vol. 25, № 1.

Walter H. 1944—1949. Über die Assimilation und Atmung der Pflanzen im Winter bei tiefen Temperaturen. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.*, Bd. 62, H. 2.

Walter H. 1951. Einführung in die Phytologie. III. Grundlagen der Pflanzenverbreitung. I. Teil. Standortslehre. Stuttgart.

Warburg O. 1919. Über die Geschwindigkeit der photochemischen Kohlensäurezersetzung in lebenden Zellen. *Biochem. Ztschr.*, Bd. 100, H. 1.

Watson D. J. 1952. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy*, vol. IV.

Weintraub R. L. 1944. Radiatin and plant respiration. *Bot. Rev.*, vol. 10, № 8.

Williams R. F. 1939. Physiological ontogeny in plants and its relation to nutrition. 6. Analysis of the unit leaf rate. *Austral. Journ. Exp. Biol. a. Med. Sci.*, vol. 17, № 2.

Williams R. F. 1946. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation. rate *Ann. Bot.*, vol. 10, № 37.

Willstätter R. und A. Stoll. 1918. Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Berlin.

Winkler A. 1898. Untersuchungen über die Stärkebildung in den verschiedenartigen Chromatophoren. *Jahrb. wiss. Bot.*, Bd. 32.

Wolf J. M., A. H. Brown and D. R. Goddard. 1952. An improved electrical conductivity method for accurately following changes in the respiratory quotient of a single biological sample. *Plant Physiol.*, vol. 27, № 1.

Zeller O. 1951. Über Assimilation und Atmung der Pflanzen im Winter bei tiefen Temperaturen. *Planta*, Bd. 39, H. 6.

陸生植物呼吸作用的生态学研究 方法概述和基本原則

O. A. 謝米哈托娃(Семихатова)

(苏联科学院植物研究所光合作用研究室)

引　　言

呼吸作用和光合作用是植物生命活动的基本过程。在呼吸作用的氧化-还原反应鏈中,首先是形成一系列有反应能力的中間产物,其次是释放能量。这些物质和能量用于植物体内存在的复杂有机合成过程。因此,呼吸过程和生长以及植物的新陳代謝過程是紧密联系的。正因为这种联系,呼吸作用的变化一定要引起整个新陳代謝過程的变化,而且,在某种程度上可以根据呼吸作用的变化来判断代謝的变化。因此,不仅仅是那些旨在闡明呼吸这一过程的生理学和化学机制的工作者研究呼吸作用。在許多研究中,为了获得关于整个新陳代謝特征和强度的概念,也对呼吸作用进行測定,就是說,把这种測定作为植物生命活力的某种綜合指标。

作为这种指标的呼吸作用,被用來說明任何一定生境的植物的特征,或者闡明因植物迁移到新环境中所引起的变化。查明可塑性最大的种,或相反比較保守的种,比較評定农作物品种或生物群落中的个别种也往往是通过对研究对象的呼吸作用强度的測定来实现的。

整个新陳代謝与呼吸作用的不可分割的联系,使得研究这一过程对外界环境因素的依賴关系的工作,成了闡明植物忍耐这些因素的任一强度的潜在能力的可貴手段。例如,植物进行正常呼

吸作用所处的溫度帶的寬度和位置，就可以說明植物对高溫和低溫的忍耐性（Семихатова，1956）。呼吸作用在水分損失时 的变化，可能是該植物器官或組織所容許的飽和差的指标（Мусаева，1957，等等）。此外，对比呼吸作用的动态与外界因素的变化使我們有可能闡明植物任一生境所特有的綜合体中的主导因素。

呼吸作用的研究对鑑定植物生产率的研究者來說也有重大意義。問題在于：呼吸作用过程中要消耗光合作用过程中所积聚的物质，結果是植物重量減少。这种損失是新陈代谢的一个必要环节，它往往与植物的生长相关联（如大家所知道的，許多植物是在晚上生长）。但是，在計算植物生产率时，必須从白昼光合作用所提供的重量生长量中减去呼吸數值（Иванов，1940）。計算所謂真實光合作用也要考慮呼吸數值。因此，为了計算植物在具体生长条件下的总生产率，大量研究呼吸作用的工作正是联系光合作用来进行的（Заленский，1956；Huber 和 Polster，1955，等等）。

可見，在探討許多极重要的植物学問題时都要研究呼吸作用。因此，測定呼吸作用的方法对广大的植物学家（其中包括地植物学家）來說都是有意义的。

呼吸作用测定方法簡述和分类

仅仅是陆生植物的呼吸作用的測定方法也是非常多的。記載呼吸作用在研究对象本身中或在周围环境中所引起的变化，可以測量呼吸作用。呼吸作用的总方程式是：



式中呼吸材料有条件地表現为碳的 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 形式，而在平衡式的右边列出了碳被氧所氧化后的最終产物。这个方程式表明了測定呼吸作用的可能途径：即記載研究对象中呼吸材料含量的变化、周围环境中氧的損耗或二氧化碳的增加。呼吸作用所引起的水分含量变化不大，在植物細胞水分高度飽和的背景上，实际上不能測量出来。

因此，可以通过碳素这个最普遍的呼吸材料的含量测定或直接根据植物保持在黑暗中一定时间的前后的干重来确定呼吸作用。其作法如下。

用直径不大的钻孔器把研究植物的不同叶片(或不同器官)切成许多小圆片，将2—3片这样作出的中等样品风干到恒重。为了避免同化物的流失，剩下的叶片都剪下并放入黑暗中的潮湿的容器内。过一定时间后，从中取出一些样品干燥。前一次样品与后一次样品重量之误差即相当于呼吸作用的物质损耗。这个误差按照单位叶片面积和单位时间计算就表示研究对象呼吸作用的强度。

然而，呼吸作用是一个相当缓慢的过程，它所引起的重量变化通常不大。因此，用这种方法测呼吸作用不得不在试验中进行长期的曝光。而长时间的曝光往往是不好的，这首先是因为呼吸材料的消耗过程本身也要导致呼吸作用的变化。因此，根据干重的损失只能对呼吸作用进行大体的和近似的计算。

但是，在某些研究中应用这种方法确是简而易行的。例如，研究种子时便经常用到它。在这种情况下，呼吸材料的消耗没有重大的意义，因为种子中通常有许多呼吸材料。然而，应该考虑到，当种子摆在滤纸或其它湿润的基质上时，种子中有某些物质会被提取出来，结果就要出现与呼吸作用完全无关的重量损失。

流行较广的是根据气体交换——根据二氧化碳和氧气计算呼吸作用的方法。下面先介绍一下第一类方法。

这类方法彼此的差别首先在于用什么办法计算植物在一定时间内放出的CO₂的数量。最简单的因而应用最广的、测定二氧化碳的方法是用碱去吸收它，然后计算这样所引起的气体样品体积或溶液碱性的变化¹⁾。

最近，借助于在有指示剂存在的情况下用酸滴定碱性吸收溶

1) 在19世纪的许多著作中，例如在И. П. 博罗丁(Бородин, 1876)的经典性研究中，都不是用碱性溶液吸收器，而是用装有固体碱的管子。称这些管子的重量就可计算被结合的二氧化碳的数量。

液的化学方法而实现¹⁾。在某些情况下“用二氧化碳进行滴定”，为此，试验的时间要延续到碱被呼吸作用的二氧化碳全部中和时为止。碱中预先加入指示剂（Ничипорович и Бакулина, 1930; Извощикова и Неговелов, 1954）。根据含指示剂溶液的颜色变化，也可判断一定量（还未使溶液全部中和）的二氧化碳被吸收后的碱的浓度变化（Frenyo, 1954）。

被吸收溶液的碱性变化也可用电导法来测定，即根据二氧化碳被吸收时碱性溶液电导率的变化来测定（Вознесенский, 1958）。

最近十年来，测定二氧化碳的所谓比色法引起了植物学家们的很大注意。这一方法的基础是：用比色的办法来计算碳酸氢盐溶液 pH 的变化，这些变化是当空气与溶液达到平衡时二氧化碳浓度发生变化的情况下出现的。早在哈斯（Haas, 1916）就提出用这个方法来测呼吸作用，后来博拉斯（Bolas, 1926）等又对它进行了研究；然而在近年来的文献中常见到的却是以物理-化学为基础的高柯法或奥尔维克法（Ничипорович, 1955; Čatský, Šlavíč, 1958）。

此外，广泛利用的是以空气的某些物理性质因其中二氧化碳浓度发生改变因而引起变化为基础的二氧化碳测定法。例如，基于空气导热性变化的卡它测定法（катарометрический метод）（Stills 和 Leach, 1931）或（原则上是同一个方法）透明计法（диаферометрический метод, Vejlby, 1958; Семененко, 1958）。红外线吸收程度的变化是吸收气体分析器——URAS 等（Scarth, Loewy 和 Shaw, 1948, Egle 和 Ernst, 1949）的基础。红外线光谱（McAlister, 1937）也是专门测定二氧化碳的高度灵敏的方法。

如果直接分析放有植物的密闭接受器（箱）中的气体，或者借助于定期地从这种接受器中抽出空气样品来作分析，或者借助于空气从具有植物的箱子通过这一或另一气体分析装置的不断环流，都可利用上述这些不同的测定二氧化碳含量的方法来研究呼

1) 参阅本卷中 O. B. 查连斯基的文章。

吸作用。在后一情况下，沿密闭系統可以形成环流或者通过有植物的箱子和气体分析器形成不断的外部空气流。

上列测定 CO_2 的工具与用于分析植物箱內气体的各种方式的不同配合，結果出現了大量的各种各样的方法，它們在研究呼吸作用的过程中过去被应用过，和現在也在被利用着。我們仅介紹其中几种最为普遍的方法。

有一大批方法要求在整个試驗期間內把植物关在密閉箱內，根据直接处于植物箱內的碱的浓度或碳酸氢盐的 pH 来計算在呼吸过程中排出的二氧化碳数量，現在就来研究一下其中的几种方法。

这些方法中最簡單的方法是所謂測定呼吸作用的燒瓶法。将支撑植物的网置于普通錐形燒瓶中。将一定体积的滴定碱注入瓶底。放入植物后，密閉燒瓶保持数小时之久，然后滴定碱，这样就可确定被碱所吸收的 CO_2 的数量。对照的空燒瓶表示从空气中吸收了多少 CO_2 。根据这两个数值之差，可算出呼吸作用的二氧化碳。在这一类方法的另一个方式中——經波依生-燕生改变过的方法(Boysen-lensen, 1928)——植物箱是带毛玻璃塞的厚壁玻璃杯。植物放在用专门的玻璃棒撑住的薄网上。玻璃杯的容积在250毫升左右。

在最簡陋的實驗室条件下，用上述的方法測定呼吸作用是很方便的。其优点是簡單，可以同时获得大量的平行测定。缺点是必須进行較长时间的曝光和不能觀察呼吸过程的动态。此外，某些研究对象，例如棉花的叶子(Есицова, 1956)在具有降低二氧化碳含量的大气中，其呼吸作用强度有改变。当然，这样的植物不多。然而，如果利用那些需要把植物保持在碱性环境中的方法，就要預先校正研究对象对这些条件的反应。

二氧化碳的扩散和吸收速度小，是在密閉箱中获得正确呼吸强度数值的主要的方法上的困难。因此，在每一次研究中都必須預先用該研究对象进行专门試驗，找出适量的植物材料，并使这些材料和碱达到最适的配置，以便使研究对象放出二氧化碳的速度

不致超过 CO_2 扩散过程和碱的吸收过程的速度¹⁾。

在植物自然生境条件下测定呼吸作用有时也采用密闭箱，例如，与上述稍许不同的 Л. А. 依万諾夫和 Н. Л. 科索維奇法 (Иванов и Коссович, 1946)。

有些研究者为了研究呼吸作用的动态而改装了烧瓶法。例如，С. П. 科斯蒂切夫 (Костычев, 1937) 提出定期从烧瓶中取出空气样品供分析二氧化碳含量之用。可是，当这样布置試驗时，被研究对象就处于愈益增加的二氧化碳浓度条件下，这只有在一定的比較窄的范围内才是可以容許的。

如果烧瓶中的碱用含有指示剂的碳酸氢盐溶液来代替 (高柯，奧尔維克的方法)，那么用比色法所記載的 pH 值变化使我們有可能追溯出呼吸作用的动态。許多文章 (Frenzel, 1955; Lange, 1956; Lieth, 1958; Заленский, 見本卷) 对这种方法作了詳細分析，并說明了它在研究光合作用方面的有限可能性。在测定呼吸作用时，没有必要供給叶片以二氧化碳；此外，光合作用的气体交換比呼吸作用的气体交換要强許多倍。因此，应用比色法测定呼吸作用所遇到的反对意見比較少。

然而，要保証碱能足够迅速地和完全地吸收二氧化碳或与碳酸氢盐溶液达到平衡則是所有密闭箱法的共同困难。尽管原則上可以选择进行正确测定所必須的植物材料数量及其与吸收溶液在密闭箱 (烧瓶) 内的配置，但最好还是利用能人工混合溶液和内部大气的箱子。要进行混合可以搖动箱子或者借助于专门的螺旋浆 (見 Заленский, Семихатова 和 Вознесенский, 1955) 或者沿閉环引入空气环流系統。在这样的系統中，箱内的空气通过气体分析器，然后又回到箱內，目前，紅外綫吸收气体分析器和其它現代化的高度灵敏的仪器都广泛利用这种系統。

用比色法記載碳酸氢盐 pH 值作为测定二氧化碳浓度的一种方法，使得空气在环流过程中能“挤过”吸收溶液尤其好。

1) 如果不同称量的平行測定資料提供的結果出入很大 (这是植物材料数量过大时所常見的)，这就意味着沒有遵守必要的条件。

这种类型的可携带的、简单的，并且显然也很便于生态研究的方法之一是恰特斯基和斯拉維克 (Čátský, Šlavík, 1958) 的方法。不过，在这种方法中，閉环的空气环流被通过叶片箱及其碳酸氢盐及指示剂溶液的試管的經常气流所代替（为了利用仪器来測量光合作用）了。

經常气流原則在許多测定光合作用和呼吸作用的方法中都被采用。这些方法在 A. A. 尼契波罗維奇 (Ничипорович 1940, 1955)、B. A. 布利梁特 (Бриллиат, 1950)、O. B. 查連斯基 (見本卷)和許多方法指南中都得到了詳細的描述。最简单的是彼健柯菲尔(Петтенкофер)法(Иванов, 1946)。这种方法中的二氧化碳吸收器¹⁾是斜放的长管，內盛碱，空气以小气泡鏈的形式通过小管。在气流速度不大时，二氧化碳可以足够完全地被吸收。二氧化碳的数量由碱的滴定来决定。彼健柯菲尔法可在實驗室条件下应用，但不宜于测定光合作用。在气流到达植物箱以前的途中設置几个德列克塞尔 (Дрексель) 玻璃瓶或其它装置以去除空气中的 CO_2 。至于植物箱本身，则和所有气流法一样，應該符合于研究对象的形式和大小，并保証二氧化碳能随气流从研究对象周围空气的各个方向流出去。

布勒克曼 (Blakman, 1954) 改进了彼健柯菲尔法，采用了一种很有价值的装置，利用它就可以更換吸收器，从而对同一个对象的呼吸作用可以連續进行好几次測定，也就是可以研究呼吸作用的动态。在所有这些变形中，彼健柯菲尔法对生态研究的意义較大。然而，最好是将更換吸收器的原則用于目前現有的較完善的吸收器类型(例如，捷斯諾科夫式吸收器；見 Вальтер, Пиневич, Варасова, 1957)。

图 1 描繪了测定植物气体交换的一种“气体”法的全部装置。借助于抽吸器或泵制造通过叶片箱而进入盛碱性溶液的直立吸收

1) 吸收器有許多不同的結構。各种不同气流法按改进这些結構的研究者的名字而得名，如奥尔多楊-克拉斯諾謝尔斯卡娅-馬克西莫娃 (Ордоян-Красносельская-Максимова)法、里赫捷尔 (Рихтер)法、捷斯諾科夫 (Чесноков)法等。

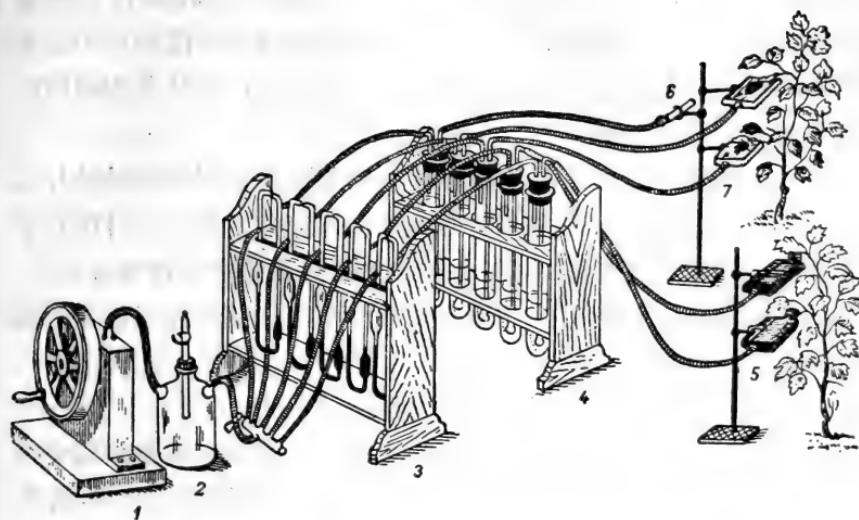


图 1 测定植物气体交换的装置(根据納塞罗夫,1956)

1—科莫夫斯基式泵；2—真空玻璃瓶；3—电流計；
4—捷斯諾科夫式吸收器；5—测定呼吸作用的叶片
箱；6—对照管；7—测定光合作用的叶片箱

器(这里有专门的气流噴散器)的气流。空气通过后，在一定的时间内测量吸收器中碱的浓度。根据两个吸收器的浓度差——气流进入其中一个吸收器是通过叶片箱的，进入另一个吸收器则是通过对空箱或简单地通过引入管——计算研究对象所放出的(或在光合作用中所吸收的)二氧化碳的数量。如果不要求同时测定空气中的二氧化碳浓度，那么就可不必测量通过的空气体积，然而必须使试验吸收器和对照吸收器中的这种体积严格一致。碱浓度的测定通常在实验室进行，要从野外把吸收器或专门的接受器(碱从呼吸器倒到这里)带到实验室去。

气流法不要求复杂的设备，在综合的定位研究中完全可以做到。然而，装备相当笨重和生产效率不高这些严重的缺点，限制了这类方法在呼吸作用生态研究方面的利用。因此，近来在积极寻求应用电导测定法以便在野外测定植物气体交换的道路。B. Л. 沃兹涅先斯基(Вознесенский, 1958)创造并描述了利用电导法测气体交换的新的仪器结构。他的仪器的特点是非常轻便而简单

(見本卷 O. B. 查連斯基一文中的图 19)，同时相当准确，用它易于測定气体交換的动态。显然，这种仪器将得到广泛的应用。它在呼吸作用生态研究方面的缺点是生产效率低，但是其中的吸收器的数量可以增加。

前述的紅外綫吸收气体分析器 (URAS) 也是利用通过叶片箱的經常气流。它可以連續不断地記載气体交換过程或同时供应好几个同样的植物材料箱，这在生态学方向的工作中是特別可貴的。近年来都在試圖在植物的自然生长条件下应用紅外綫气体分析器 (Polster 和 Fuchs, 1956; Leblond, 1958)。

現在来叙述根据氧气測定呼吸作用的方法。

呼吸作用中氧气的交換与植物力能的关系比二氧化碳的交換更为密切。因此，研究者坚持不懈地探索着正是根据氧气来測定呼吸作用的途径。然而，植物的气体交換，特別是呼吸作用的气体交換，在試驗時間內只可能微小地改变空气中氧的含量，后者在正常条件下达到 21%。可見，根据氧气測定呼吸作用的方法应保証有可能精确地記載空气中总含量很高的氧气含量的微小变化。这是一个很困难的条件。因此，在制訂合乎这些条件的方法的同时，还要为研究陆生植物呼吸作用的研究試用測定水相（与空气处于平衡）氧气的办法，如电測法和极譜法 (Bolaz, 1957)。此外，某些学者在研究在人工降低空中氧气含量的情况下測定呼吸作用的可能性。如果氧气浓度降低，就可利用如“热通量” (Термофлюкс) 这类的方法。測定氯化亚鉻溶液吸收氧气时所释放出来的热量是“热通量”法的基础 (Tietz, 1954)。我們仅仅討論一下根据普通大气中的氧測定呼吸作用的較普通的方法。

属于这类方法的首先是按被吸收氧气体积測定呼吸作用的方法。确定氧气体积通常是测量随着植物消耗氧气时压力的降低而进入接受器的水的体积。但是，只有消除被植物同时排出的二氧化碳时，压力才会下降，所以碱应放在植物箱內。因此，氧气的測定往往是与二氧化碳的測定 (曝光后滴定碱) 相配合。这样方法有很多不同的方案 (Журавский, 1936; Denny, 1947; Толмачев,

1950; Вальтер, Пиневич, Варасова, 1957, 等等)。能够計算呼吸系数($\frac{CO_2}{O_2}$)和觀察呼吸作用的动态是这一方法的优点。應該強調指出,为了用这些方法也能与上述的密閉箱一样,获得同样正确的結果,必須保証碱能足够迅速地和完全地吸收二氧化碳。

目前测定呼吸作用用得最广泛的是检压法(Умбрайт, Буррис和Штауффер 1951; Kleinzeller, Málek, Vrba, 1954)。其基础是测量植物气体交换在小密閉箱內所引起的压力变化。这种测量由灵敏的压力計来进行。为了排除溫度对压力計中压力的影响,压力計应放在严格保持恒溫的水浴中。由于排出的二氧化碳的体积接近于被吸收的氧气的体积,往往是人为地使一种气体(多为二氧化碳)的浓度(分压力)保持在不变的水平上,这样才用检压法来测定呼吸作用。这时,压力計中压力的测量整个地决定于参加植物气体交换的另一种气体(氧气)。通常,用处于压力計的专门容器中的碱,来吸收二氧化碳,以达到此目的。

不过,用碳酸盐溶液和碳酸氢鈉溶液的混合物也可以使压力計中二氧化碳的浓度經常保持到接近于自然条件下的浓度。存在着不仅是测量氧气交换的,而且同时测量二氧化碳交换的各种检压法。

大量不同的仪器和装置都采用了上述检压测量的基本原則。例如,經常利用的有差异的压力計的仪器(Вальтер, Пиневич, Варасова, 1957)。在这些压力計的两端套有容器,其中一个放植物,第二个——补偿的——供消除大气压力和溫度变化影响之用。因此,用这种压力計仪器测定呼吸作用时,可以不如流行較广的瓦尔布格仪器那样严格地保持恒溫池中的恒溫,后一种仪器用的是一端敞开的所謂瓦尔布格式压力計。一般认为,瓦尔布格的仪器是典型的实验室仪器。然而,生产效率高,工作简单,灵敏度高,除从不同方面研究呼吸作用(按氧气和二氧化碳的体积,从而按呼吸系数值)外,还可研究呼吸作用的动态,这一切使人很乐于在生态学研究方面应用压力测定法。近年来,苏联科学院植物研究所制出了新的压力测定仪結構(图 2),适用于定位站和半定位站(Семи-

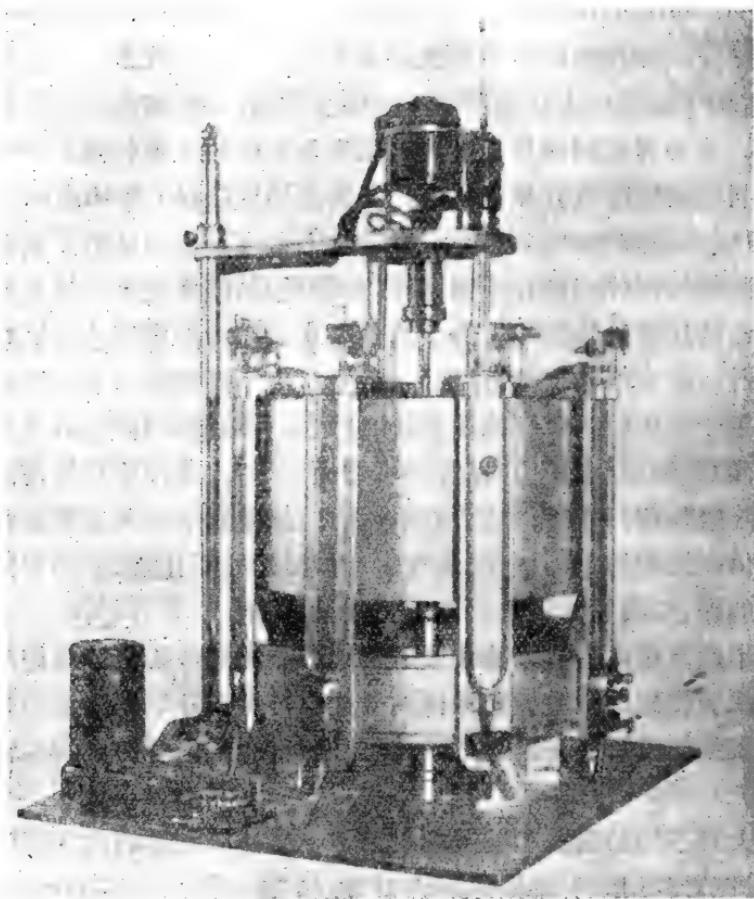


图 2 测定植物呼吸作用的压力测量仪
(根据沙米哈托娃和阿尔卡德也夫, 1957)

хатовá 和 Аркадьев, 1957)。

在进行测定时, 必須把研究对象保持在人工的和严格固定的溫度条件和二氧化碳浓度条件下, 而在研究大型植物时, 必須只是研究从整株植物上摘下的小部分样品的呼吸作用, 这是所有检压测量装置的共同点。

是的, 舒尔茨 (Schultz, 1958) 曾經描述了应用压力測定法来测定整株小植物 (甜菜) 的呼吸作用, 不过, 这未必是該方法在应用方面的前途。

近年来，不同学者利用以氧气的顺磁性为基础的气体分析器对呼吸作用进行了一系列的测定。这些气体分析器的特点是灵敏度很高，能够同时测定许多植物材料样品，便于使用通过植物箱的经常气流进行工作(Агейкин等，1957；Müller, 1958；Young和Biale, 1950)。但是，如果用这种方法测定氧气，就必须清除被分析空气中的二氧化碳，空气中水汽的含量要严格固定，仪器要准确地保持恒温。因此，用顺磁性气体分析器分析氧气的条件比应用其它方法(如检压法)较为复杂。然而，尽管如此，顺磁性气体分析器，很显然，无论在纯生理研究，或者在生态-生理研究方面，都将得到广泛的应用。

在许多借助于氧的重同位素 O^{18} 所进行的工作中，都是用质谱分析法来计算氧气 (Brown, 1953；Вартапетян和Курсанов, 1955)。但这个重要的方法的应用有它的局限性，所以我們也不去詳細介紹它。

上面各种方法的简述表明，研究呼吸作用存在着许多不同的可能性。根据研究对象干重的损耗，根据排出二氧化碳的数量，根据吸收氧气的数量，都可测定呼吸作用。根据二氧化碳测定呼吸作用的方法应用最广。根据在测定植物排出的(或吸收的)二氧化碳或氧气时所采用的方式可以将各种方法进行分类。

就进行呼吸作用研究的条件而言，现有的方法也是各有不同的。除了可以直接在植物生长地应用的那些简单而原始的方法外，还有许多纯实验室的方法。这些方法往往要求在测定植物箱内的呼吸作用时，保持温度不变，而且有时要用人造大气(没有二氧化碳或保持固定的二氧化碳浓度等)。此外，还有些方法是应用有高度效能和灵敏度的气体分析器。在任何的，其中包括接近于自然界的叶片箱内的条件中，在气流通过叶片箱进入气体分析器的情况下都可利用这些方法。但是，这些仪器要用电流，要保持恒温等。

在呼吸作用的生态学研究中，不仅是那些可以直接在野外条件下利用的方法，上述各类方法都可采用。为了评价应用各个方面

法的可能性和从中选择最适于解决这一或那一具体任务的方法，必須研究，哪些指标可以代表呼吸作用的特征，生态学研究对方法有哪些要求。

在生态学研究中說明呼吸作用特征的指标

用上列各种方法，可以根据称量的結果計算植物材料在一定時間內所吸收(或排出)的氧气(或二氧化碳)的数量，即求出該样品的呼吸强度。然而，在生态学研究中需要知道的不是分別地取出的植物材料样品的呼吸强度，而是在該生活条件下一定植物种(或品种)的呼吸强度。如引言所指出，实际上在生态研究中測定呼吸作用通常是为了1) 根据新陈代谢的强度对比各个植物种(或品种)，2) 查明这个或那个种对外界条件的反应，3) 計算植物种在該生活条件下的生产率。在每种情况下，都必須对代表該生活条件下整組植物(而不是个别样品或植物)特点的呼吸强度得到一个概念。这一任务要求与生理-生化研究不同地来利用測定呼吸作用的方法。在生理-生化研究中可以挑选几个差別最小的样品以求平行測定的結果相近似，所以进行2—3次平行測定就够了。

为了描述某一植物种在該生境中的呼吸作用，不要求挑选一致的样品，相反，应尽可能較完全地包括被研究植物类群各种代表的呼吸作用强度的所有变异范围。为此，必須选择的或者是很的中等試样，或者(如果对植物学对象和現有方法來說是比較可行的話)是很大量的、用該种植物的各种代表所进行的平行測定。根据这些測定的数据可計算該种植物呼吸作用的平均强度。必須着重指出：这是一定的，通常在該生境中最典型的或者是最适的条件下的平均值。各次測定对这一数值的平均偏差，并不只是說明不同对象的平均值之間的差別的真实性特点的算术平均的誤差。由于植物的年龄和生长状况的不同，显然，也由于种的特性不同，各次測定的“偏差”(它們对平均值的偏差)将是不一样的。因此，这种偏差的平均值不但表示該种的不同代表在具体条件下的呼吸

作用强度的多变性(Вариабильность), 而且它本身就是植物生长状况的指标, 这种指标應該是专门研究的对象。因此, 为了取得呼吸强度的正确数值, 为了能最深刻地洞悉所研究的对象, 测定呼吸作用必須有大量的重复。由此很清楚, 使呼吸作用测定法具有高度的效能, 保証能用大量的平行試样进行平行测定的可能性对生态学研究來說是非常重要的。

此外, 必須使被使用的方法可以对植物材料同一个試样的呼吸作用进行好几次連續的測定。

呼吸作用对任何刺激作用都很敏感。研究者在准备測定时对材料的疏忽(不能扭轉、折叠或压缩叶片或其它器官)而造成的机械刺激也可能是这样。当研究对象移到曝光条件下时的急剧溫度变化或湿度等因素的自然波动(测定呼吸作用前发生的)也能成为刺激作用, 因此, 呼吸作用在測定时可能升高, 其强度可能发生显著变化, 甚至, 在研究对象受到严重伤害时, 呼吸作用可能下降。如果进行一次短时间的測定, 記載下来的可能是呼吸强度在刺激作用影响下而变形了的数值, 即得到的可能是偶然的和不可靠的結果。观察呼吸作用在2—3小时內的动态, 就可以根据呼吸作用过程的性质确定是否有刺激作用的影响和呼吸作用在什么时候开始稳定下来。刺激作用通常是使呼吸作用产生为时不长的变化。

其所以必須对同一对象的呼吸作用进行一系列連續的測定, 不只是出于方法論上的考慮。呼吸作用动态的性质本身就是一个比强度值更能提供較深刻的呼吸作用鑑定的指标。例如, 对面包树來說, 夏季的特点是: 除呼吸作用强度較低外, 而且呼吸过程平緩, 但冬季, 叶片摘下后, 呼吸作用就显著地下降 (Imandar a. Singh, 1936)。这証明常綠植物在一年中不同时间其生理状况在有深刻差异。其次, 不同植物种对条件显著变化的忍耐性不同。进行比較研究时, 閣明哪些种比較能忍耐和哪些种比較不能忍耐是很重要的。

因此, 在試驗条件下研究呼吸作用的动态, 不但可以检查所作测定的正确性, 而且可以得到許多有价值的关于被研究植物的补

充資料。

为了得到上述的指标(最适条件下呼吸作用的平均强度,对这一平均值的偏差值和呼吸作用的动态),采用的方法应保証有可能进行大量的測定和对每一个試样連續进行若干次測定。这些要求不是选择或剔除这种或那种方法的根据,但是指出了应如何进行呼吸作用的測定。几乎每一种方法在原則上都可保証大量的測定和获得有关呼吸作用动态的鑑定;然而,从簡述中已可看出,有些方法較易达到这一要求,另一些方法則較难,这是必須考慮到的。

在許多研究中,除了上述的一般呼吸作用指标外,还必須获得这一过程的較深入的鑑定。在这种場合就要研究呼吸作用的定性方面——酶的組成(例如参加呼吸过程的氧化酶的組成),根据呼吸系数值在很大程度上可以判断出来的呼吸材料,等等。研究呼吸对外界条件的依賴关系也可提供深入的分析。事实上,表述呼吸作用对这一或那一外界环境因素的依賴关系的曲綫,各种不同植物可能有重大的差別。这些曲綫的特点是: 扭折点或过程的轉变点的位置,傾角和其它許多有很大意义的指标。

溫度是对呼吸作用影响最大的因素。因此,許多植物呼吸作用对溫度的依賴关系都得到了研究,而它的特征指标——呼吸的最适度(曲綫的扭折点),临界溫度(导至呼吸动态变化的溫度)和溫度系数(Q_{10} ——曲綫的傾角)則常常用于生态研究(Kuijper, 1911; Wager, 1941; Рубин, 1956)。当然,并不是所有这些数值都具有同样的意义。例如,应用 Q_{10} 来描述植物种显然沒有必要,因为它的变化不大,而且計算的精确度也不够 (Семихатова 和 Денько, 1958)。然而,在批判性地选择代表呼吸对外界因素的依賴关系曲綫特征的指标时,可能得到有价值的关于这种或那种植物特点的資料。根据这些指标可以了解各植物在忍耐性方面的差別,这个或那个种对生存条件适应程度的差別,各別种的代謝过程的保守性或可塑性等。因此,为了对比不同植物或为了深入分析研究对象,研究主要外界因素对植物呼吸作用的影响是非常重要的。

选择测定呼吸作用的方法的基本原則

各种方法的制定永远是根据提出的具体任务和研究目的。因此,每一种方法都适于获得在解决某一問題时所必需的一定指标,适于闡明被研究过程的一个方面。現在還沒有万能的和适于任何研究的方法。如果利用的是很少适于該工作目的的方法,那么,解釋用它所获得的結果就非常困难。因此,必須專門討論一下如何选择研究呼吸气体交換这一或那一方面的方法。

生态学研究永远是比较性的。这些研究的基础务必是对比被研究对象在各种外界条件下的呼吸作用,或者对比不同的对象(栽培植物的品种,植物种或各別器官),或者联系(比較)光合作用进行测定。

依为了解提出的任务必須进行什么样的比較为轉移,研究者必須这样或那样地回答下列問題:进行測定时应把被研究对象保存在什么样的条件下——是人为的条件呢?还是尽可能地接近植物現有的自然生境条件呢?对这个問題的回答在很大程度上决定了方法的选择。

假定呼吸作用研究的任务是查明一系列植物的生产率,那么,对提出的問題只能坚决地这样回答:为了查明生产率必須知道,有多少同化物是在植物生长的具体条件下被植物的不同部分的呼吸过程所消耗了。因此,需要直接在植物的生活地研究呼吸作用,必須采取一切可能措施在試驗时保持溫度、湿度、二氧化碳浓度、光照等的自然条件。因此,在这种方向的工作中要求所采用的方法最能保証試驗条件接近于自然条件,要求所采用的方法易于得到呼吸动态的鑑定和大量的同时測定。用于研究光合作用的那些气流法、比色法(斯拉維克和恰特斯基法)、电导測定法(沃滋涅先斯基法)、紅外綫吸收自記器等都属于这样的方法。然而必須了解,呼吸的气体交換比光合作用的气体交換弱几十倍。因而,在測定呼吸作用时,試驗中的曝光時間或試样的大小都应比光合作用

試驗中的大很多。

讓我們進一步研究，當工作任務是為了查明植物對條件變化的反應而測定被研究對象的呼吸作用對外界因素的依賴關係時，需要采用什麼樣的方法。解決這一任務可能有兩個途徑，它們要求不同的測定呼吸作用的方法和不同地整理所獲得的結果。

其中一個途徑是在自然條件下研究呼吸作用在長時間內的變化過程。這時，必須同時記載溫度、濕度、光照等的變化。對比呼吸作用隨外界條件變化而發生的變化，可以查明作為該生境特徵的氣候綜合體中的主導因素。選出在隨便一個什麼因素，如同氣溫（在其它條件尽可能相近的情況下）的不同強度下的呼吸作用強度數值，就可作出呼吸對溫度等的依賴關係曲線（Polster, 1950; Tranquillini, 1955）。在這種工作情況下測定呼吸作用所採用的方法應能將研究對象在試驗時保持在與自然接近的條件下。同時，仔細記錄呼吸作用動態或甚至它的連續進程是很重要的。

研究呼吸作用對外界因素的依賴關係的第二條途徑是測定在不同的人為溫度、濕度等的條件下的呼吸強度。當這樣安排試驗時，各個因素的作用是比較孤立的；此外，還可追溯各因素的較大幅度（與植物自然生活條件比較）變化的影响。這使我們有可能揭露植物的潛在可能性，後者不但從實踐觀點來說是有意義的，而且對解決該植物種的歷史、它的新陳代謝保守性等問題來說也很重要。在人為條件下進行工作也同樣可以得到野外測定所能提供的關於外界因素綜合作用的資料，這樣，就給呼吸作用的研究提供了廣泛的可能性。實際上，如果在整個生長期每天的不同時間內選擇試樣，並在恆定的接近於最適條件下進行呼吸作用的測定，那麼可以觀察到呼吸作用在自然條件（試驗前存在的）的後效影響下所發生的變化。根據這些變化，可以找出主導因素和探索整個條件綜合體的影響，因為作用和後效是十分相似的，這已為試驗（如溫度試驗）所證明（Kuijper, 1910）。

因此，為了弄清植物對條件變化的反應，研究最好不是在植物生活地，而是在試驗室進行，測定呼吸作用宜於採用試驗室方法。

再其次，談一下這個問題：如果必須比較不同的種或不同的植物器官或者研究植物呼吸作用的季節變化，那麼，應該用哪些方法來測呼吸作用和如何進行研究工作。

為了進行這樣的對比，需要計算每一被研究對象的平均呼吸強度、呼吸強度對平均值的偏差和呼吸作用的動態。這些測定可以在自然條件（野外）下進行，也可在人為條件（實驗室）下進行。不過，在實驗室完成必要數量的平行測定和分析呼吸作用動態要比在野外簡單，因為野外自然條件的經常變化決定了同時測定所有被比較對象的呼吸作用的必要性。如果考慮到，為了評定每種植物要求有一系列的平行試樣，那麼就將會了解：在存在好幾個或甚至是兩個對象的條件下，同時進行這樣的測定實際上是不可能的。因此，為了比較被研究對象在測定呼吸作用時將它們放在人為的、相同的和不變的條件下。

因為呼吸在人為的條件下是要變化的，所以可以反對這樣的試驗設計。然而應該了解，在這個方向的研究中，是把呼吸當作新陳代謝強度的一定積分指標來看待的，它是定量地比較研究植物特性的工具。如果考慮到：不同植物的對比通常是根據葉片呼吸作用的強度，而試驗照例是在白天進行的，那麼就很顯然，所進行的反對是毫無根據的。但是，在自然條件下，植物葉片在白天進行光合作用的氣體交換，而不是呼吸作用的氣體交換，為了測呼吸作用，就得把它們放入暗箱內。可見，就是直接在植物生活地測呼吸作用，條件的自然性還是要受到破壞。在實驗室的試驗中，除遮蔭外，只要保持其它因素不變就行了。

當然，在人為條件下測呼吸作用往往要把植物切斷或摘下個別葉片。因此，必須分析切割植物或葉片對呼吸強度的影響這個問題。

這個問題早就使研究者感到興趣了。由於已進行了一系列的實驗工作和特別是在牛津所進行的研究（Джеймс, 1956），現在已經可以有信心地說，用植物個別部分來測呼吸作用的可能性是完全有根據的。停止生長的甚至是未摘下的葉片或整株植物的呼吸

强度是不断地下降的。摘下的叶片或切割植物也发生呼吸作用的下降,不过速度快得多。可見,切割并不影响呼吸变化过程的性质,而只是增大变化的速度而已。不同植物这种增大的程度不同,它决定于叶片的特点,显然,首先是决定于其中所含呼吸材料的数量,用切割叶片进行短时(1—2 小时)测定所得到的蒸騰强度值与未切割前的叶片相同。在测定呼吸作用动态时,根据动态性质很容易确定把在其中能够进行切割叶片呼吸作用所测量时间(可以有条件地呼吸强度的降低不超过植物切割后最初数值的 30% 的期间作为这个时间)。

这样,就不能把切割植物的必要性看作是在人为条件下测定呼吸作用和采用純实验室方法的障碍。至于根据这一过程个别因素依賴关系来較深入地分析呼吸作用,那么在实验室条件下进行研究也是比較方便的。

結 論

测定呼吸作用就可以說明植物对外界条件的反应的特点,根据新陈代谢强度来对比不同的植物以及判断植物有机物质的生产率和平衡状况。可見,对呼吸作用的测定感兴趣的不仅是研究这一过程的机制的生理学家,而且还有生态学家。

目前,已經制訂了許多不同的测定呼吸作用的方法,然而,其中沒有一个是万能的。当选择测定呼吸作用的方法时应以研究任务为出发点,这种研究任务决定着: 試驗时被研究对象應該处于什么样的条件和應該获得哪些說明呼吸作用的特征的指标。

如果研究植物生产率是研究的目的,就必须直接在植物生境地测定呼吸作用,并尽可能在試驗时保持溫度、湿度、光照、二氧化碳浓度等的自然条件。

当研究任务是了解植物对外界条件变化的反应或者是对比不同的植物(或者不同时间的和不同生境条件下的同样植物)时,那么,可以在自然条件下,也可在实验室的人工条件下来测定呼吸作

用。然而,由于在試驗时建立了人工条件,研究者可以得到較广泛和較精确的植物評定。在实验室測定必須切割植物(或叶片),但这并不歪曲呼吸作用的数值。因此,在所有情况下,除了研究植物的生产率,生态学家都应在人工条件下來測定呼吸作用。

确定了必須在什么样的条件下來測呼吸作用,从而就可解决,哪些方法是适于研究該問題的方法。进一步的选择則决定于:这一或那一方法对于获得必要的呼吸指标能提供多大的可能性。

在生态研究中通常要求說明在該生活条件下的植物种或品种的特征。因此要利用根据大量測定而算出的平均蒸騰强度、对平均值的偏差和呼吸的动态性质以及呼吸与外界因素的关系曲綫。

用任何方法都可这样或那样地得到这些指标。但是,值得推荐的最方便和最简单的方法是: 野外——电导測定法, 室內——检压法。目前有一些这样的检压仪器构造, 它們不要求设备很好的实验室, 而且在定位和半定位研究中用起来也比較方便。

在一般綜合的生态学研究中比較广泛地采用的植物呼吸作用的測定,无疑将提供許多有意义的資料,它們不但有益于被研究种的評定,而且有益于进一步认识新陈代謝这一过程的生理学。

(李 恒譯, 周佩珍、陈昌篤校)

参 考 文 献

Агейкин Д. И., Э. Л. Илкович и И. Н. Воробьев. 1957. Новая конструкция термомагнитного газоанализатора на кислород. Приборы и техника лабораторных работ, № 7.

Бородин И. П. 1876. Физиологические исследования над дыханием листоносных побегов. Тр. С.-Петербургск. общ. естествоиспыт., т. 7.

Бриллиант В. А. 1950. Методы учета фотосинтеза. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер IV, Экспериментальная ботаника, вып. 7.

Вальтер О. А., Л. М. Пиневич, Н. Н. Варасова. 1957. Практикум по физиологии растений с основами биохимии. Сельхозгиз, М.—Л.

Вартапетян В. В. и А. Л. Курсанов. 1955. Участие кислорода воды и кислорода атмосферы в дыхании растений. Докл. Акад. наук СССР, т. 104, № 2.

Вознесенский В. Л. 1958. Измерение интенсивности фотосинтеза по изменению электропроводности поглощающего раствора щелочи. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. IV, Экспериментальная ботаника,

вып. 14. (в печати).

Джеймс В. 1956. Дыхание растений. Изд. иностр. лит., М.

Есилова И. В. 1956. Последействие высоких и низких температур на газообмен хлопчатника. Автореферат дисс. Л.

Журавский О. О. 1936. Метод количественного определения O_2 при дыхании растений. Ботан. журн. СССР, т. 21, № 1.

Заленский О. В. 1956. Об эколого-физиологическом изучении факторов продуктивности дикорастущих многолетних растений. Сб. «Академику Сукачеву к 75-летию со дня рождения», Изд. АН СССР, М.—Л.

Заленский О. В., О. А. Семихатова и В. Л. Вознесенский. 1955. Методы применения радиоактивного углерода C^{14} для изучения фотосинтеза. Изд. АН СССР, М.—Л.

Иванов Л. А. 1940. Фотосинтез и урожай. Сб. работ по физиол. раст., посвящ. памяти К. А. Тимирязева, Изд. АН СССР, М.—Л.

Иванов Л. А. и Н. Л. Коссович. 1946. Полевой метод определения фотосинтеза в ассимиляционной колбе. Ботан. журн., СССР, т. 31, № 5.

Иванов Н. Н. 1946. Методы физиологии и биохимии растений. 4-е изд. Сельхозгиз, М.—Л.

Извощиков В. П. и С. Ф. Неговелов. 1954. Прибор для определения фотосинтеза в естественных условиях. Изд. «Советская Кубань», Краснодар.

Костычев С. П. 1937. Физиология растений, ч. 1. Ред. С. Д. Львов. ОГИЗ—Сельхозгиз, Л.

Мусаева Л. Д. 1957. Влияние недостатка воды в различные периоды развития ячменя на процесс дыхания. Физиология растений, т. 4, вып. 3.

Насыров Ю. С. 1956. Фотосинтез и урожай хлопчатника. Изд. АН ТаджССР, Сталинабад.

Ничипорович А. А. 1940. Методы учета фотосинтеза в полевых условиях. Сов. ботаника, № 5—6.

Ничипорович А. А. 1955. О методах учета и изучения фотосинтеза как фактора урожайности. Тр. Инст. физиол. растений АН СССР, т. 10.

Ничипорович А. А. и Н. И. Бакулина. 1930. Упрощенный метод относительного учета ассимиляции CO_2 растениями в полевых условиях. Изв. по опытн. делу Сев. Кавказа, № 5.

Рубин Б. А. 1956. Дыхание растений как приспособительная функция. Вестн. Моск. унив., сер. биол., почвовед., геол. и геогр., № 1.

Семененко В. Е. 1958. Прибор для изучения кинетики индукционного периода фотосинтеза с газоанализатором углекислоты на термисторах. Физиология растений, т. 5, вып. 6.

Семихатова О. А. 1956. Об изменениях дыхания растений Памира от резкой смены температуры. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. IV, Экспериментальная ботаника, вып. 11.

Семихатова О. А. и Г. В. Аркадьев. 1957. О новой конструкции манометрического прибора. Ботан. журн. СССР, т. 42, № 4.

Семихатова О. А. и Е. И. Денько. 1958. О воздействии температуры на дыхание листьев растений. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. IV, Экспериментальная ботаника, вып. 14. (в печати).

Толмачем И. М. 1950. Новый реspirометрический аппарат. Тр. Инст. физиол. растений АН СССР, т. 7, вып. 1.

Умбрайт В. В., Р. Х. Буррис и Дж. Штауффер. 1951. Манометрические методы изучения тканевого обмена. Изд. иностр. лит., М.

Blackman F. F. 1954. Analytic studies in plant respiration. Cambr. Univ. Press., Cambridge.

Bolas B. D. 1926. Methods for the study of assimilation and respiration in closed systems. New Phytol., vol. 25, № 2.

Bolaz O. 1957. Untersuchungen über die Atmung der Pflanzen. I. Elektrometrisches Verfahren zur kontinuierlichen Messung des während der Atmung verbrauchten Sauerstoffs. Acta biol. Acad. sci. Hungaricae, t. VII, fasc. 2—3.

Boysen-Jensen F. 1928. Über neue Apparate zur Messung der Kohlensäureas similation, der Respiration, der Offnungsweite der Spaltöffnungen und der Beleuchtungsstärke. Planta, Bd. VI, H. 1.

Brown A. H. 1953. The effect of light on respiration using isotopically enriched oxygen. Amer. Journ. Bot., vol. 40, № 7.

Čatský J., B. Slavík. 1958. Modifikace Ålvikovy metody stanovení intensity fotosyntesy v polních podmírkách. Sborník Československé Acad. zemědělských věd, Rostlinná výroba, Ročník 4 (XXXI), číslo 1.

Denny F. E. 1947. Semi-micro method for measuring the amount of oxygen consumed and carbon dioxide produced in plant respiration. Contr. Boyce Thompson Inst., vol. 15, № 1.

Egle K. und A. Ernst. 1949. Die Verwendung des Ultrarotabsorptionsschreibers für die vollautomatische und fortlaufende CO_2 -Analyse bei Assimilations- und Atmungsmessungen an Pflanzen. Ztschr. Naturforsch., Bd., 46, H. 6.

Frenyó V. 1954. Zur Untersuchung der Atmung der Pflanzen. Acta bot. Acad. sci. Hungarica, t. 1, fasc. 1—2.

Frenzel B. 1955. Einige Bemerkungen zu der CO_2 -Bestimmungsmethode nach Ålvik, Planta, Bd. 46, H. 4.

Haas A. R. 1916. A simple and rapid method of studying respiration by the detection of exceedingly minute quantities of carbon dioxide. Science, vol. 44, № 1125.

Huber B. und H. Polster. 1955. Zur Frage der phisiologischen Ursachen der unterschiedlichen Stofferzeugung von Pappelklonen. Biol. Zbl., Bd. 74, H. 7—8.

Imandar R. S. and B. N. Singh. 1936. Studies on the respiration of tropical plants. I. Seasonal variations in aerobic and anaerobic respiration in the leaves of *Artocarpus Integrifolia*. Journ. Indian Bot. Soc., vol. 6, № 3—4.

Kleinzeller A., J. Málek, R. Vrba. 1954. Manometrické metody a jejich použití v biologii a biochemii. Praha.

Kuijper J. 1910. Über den Einfluss der Temperatur auf die Atmung der höheren Pflanzen. Rec. Trav. Bot. Neerl., vol. 7.

Kuijper J. 1911. Einige weitere Versuche über den Einfluss der Temperatur auf die Atmung der höheren Pflanzen. Ann. Jard. bot. Buitenzorg, 2 série, vol. 9.

Lange O. L. 1956. Zur Methodik der Kolorimetrischen CO_2 -Bestimmung nach Ålvik. Ber. Dtsch. bot. Gas., Bd. 69, H. 1.

Leblond M. C. 1958. Un laboratoire mobile pour l'étude de la respiration des organes aériens des végétaux en place. Rev. gén. bot., t. 65, № 774—775.

Lieth H. 1958. Grenzen und Anwendungsmöglichkeit der kolorimetrischen CO_2 -Bestimmung. Planta, Bd. 51, H. 6.

Mc Alister E. D. 1937. Spectrographic method for determining the carbon dioxide exchange between an organism and its surroundings. Plant physiol., vol. 12, № 1.

Müller J. 1958. Über die Verwendung von Magnos-Sauerstoffschreibern für Gaswechselregistrierungen in der Biologie. Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd. 71, H. 5.

Polster H. 1950. Die physiologischen Grundlagen der Stofferzeugung im Walde. München.

Polster H. und S. Fuchs. 1956. Verwendungsmöglichkeiten des Ultrarotabsorptionsschreibers für Assimilations- und Atmungsmessungen im Freiland. Biol. Zbl., Bd. 75, H. 5/6.

Scarth G. W., A. Loewy and M. Shaw. 1948. Use of the infrared total absorption method for estimating the time course of photosynthesis and transpiration. Canad. Journ. Res., vol. 26, № 1.

Schultz G. 1958. Assimilation und Atmung bei Zuckerrüben nach Infektion mit Gelbsucht-Virus (Beet Virus Jellows). Ztschr. Naturforsch., Bd., 7.

Stiles W. and W. Leach. 1931. On the use of the katharometer for the measurement of respiration. Ann. Bot., vol. 45.

Tranquillini W. Ch. 1955. Die Bedeutung des Lichtes und der Temperatur für die Kohlensäureassimilation von *Pinus cembra*.

Jungwuchs an einem hochalpinen Standort. *Planta*, Bd. 46, H. 2.

Tietz N. 1954. Zur Methodik einer kontinuierlichen Sauerstoffregistrierung. *Ber. Dtsch. bot. Ges.*, Bd. 67, H. 8.

Vejlby K. 1958. Induction phenomena in photosynthesis. Experiments with *Polytrichum attenuatum*. *Physiol. plantarum*, vol. 11, fasc. 1.

Wager H. I. 1941. On the respiration and carbon assimilation rates of some arctic plants as related to temperature. *New Phytol.*, vol. 40, № 1.

Young R. E. and J. B. Biale. 1950. The recording Beckman oxygen analyzer for respiration studies. *Amer. Journ. Bot.*, vol. 37, № 8.

自然生长条件下植物蒸騰的研究

B. M. 斯維什尼柯娃 (Свешникова)

(苏联科学院植物研究所地植物学組)

蒸騰研究的任务

研究自然条件下植物水分状况的任务可能极为多种多样。这些任务与新地域的开垦,荒漠的灌溉和开发,各地带飼料基地的建立、改良和改变,沙地的固定,森林水文状况的改善,防护林带的营造,干旱气候条件下植物的栽培等許多重要問題的解决都有密切的关系。

作为植物水分状况的最重要指标之一的蒸騰,首先吸引了研究者們的注意,这是因为这一过程十分清楚地反映了植物的特性和一系列外界因素对植被水分損失的影响。

植物蒸騰的研究能够揭示植物生命活动的許多有趣的方面。常常有必要从与这种或那种湿润条件相适应的水分平衡观点来估价各种植物的水分平衡,这在荒漠和半荒漠地区极端干旱的土壤和空气条件下特別重要。研究主要植物生态类型的水分状况,即水分的收入和支出过程,可以发现对于一定外界因素綜合体的适应途径的相似性和差异性(Купревич, Григорьев 和 Низковская, 1949)。在某些情况下,通过象对蒸騰这种生理指标的变异性的比較分析,可以发现各个植物类群对长期作用于植被的主导外界因素的机能适应途径(Walter, 1951; Свешникова 和 Заленский, 1956)。

在地植物学研究中,利用植物蒸騰資料的可能性和主要方向是多种多样的。最重要的任务之一是研究植被对水分的需要。为

此，必須估算自然条件下整个生长期的植物蒸騰所支出的水分。通过这种估計，可以粗略地計算出整个植被或各优势种——建群种的水分消耗量。为了划分生态类群，常常有必要比較各植物种的蒸騰量。在这种情况下，蒸騰动态的研究（目的在于分析蒸騰过程与外界环境因素的相互关系）有助于闡明各不同植物生态类型之間的差异。植物在生长期間蒸騰的日变化特征，使我們有可能了解植物对于忍耐不利环境和利用有利条件的結合的适应途径。因此，闡明联系环境因素和植被季节发育的节律的蒸騰变化节律是可能的。

闡明不同地理景观的特征的大的植被类型中各个建群植物在蒸騰强度变化范围上的区别是很有意义的（Свешникова 和 Заленский, 1956）。

最后，由于植物适应型式的多样性与水分状况相联系，所以这些形态的闡明可以通过一系列系統发育上相近的、但旱生形态性或中生形态性程度不同的种的比較生理研究（例如蒸騰）来进行（Купревич, Гриторьев 和 Низковская, 1949）。

因此，很清楚，可以根据植物水分状况来解决的問題是很多的。所以这些研究工作的方法的选择也可能各有不同，但这种选择首先应取决于提出的目的。为了闡明代表这一或那一植被类型和居于这一或那一地理地区的植物的水分状况，主要对象首先應該是建群种。

决定蒸騰变化的因素

到現在为止，各不同地理区域植物水分状况的研究所涉及的主要还是蒸騰和渗透压强度的鑑定。对解决一系列的生态問題和地植物学問題來說，这两个指标中有最大意义的是蒸騰的研究。

根据已經发表的大量著作可以判断，蒸騰的真实速度取决于三个基本条件：小气候因素，植物的形态結構（叶片和輸水系統的解剖学类型、根系的性质和大小、植物叶面的大小和变异性）和植

物的生理类型。研究蒸騰的最終目的是确定蒸騰速度与这些条件之間的依賴性。

已掌握的事实大部分都証明了蒸騰和环境因素之間的密切联系。这一情况使我們有可能在比較各种生境时，在闡明主导环境因素对植物的作用时，把蒸騰作为一个重要指标来研究。

現有的文献表明，蒸騰与溫度之間存在着一定的关系，植物調节蒸騰的能力制約于溫度的变化 (Burgerstein, 1920; Rouschal, 1938; Иванов, 1946; Paauw, 1949; Иванов, Силина 和 Цельникер, 1952; Свешникова, 1957)。已經确定：在一定限度內蒸騰速度随着溫度的升高而增加，在低温的影响下，蒸騰速度急剧下降；已經为每一个曾經研究过的植物种确定了蒸騰强度发生变化的溫度界限。

在主要环境因素中，最特殊的是强烈影响植物水分輸出的太阳輻射 (Тольский, 1910; Briggs 和 Schantz, 1916; Максимов, 1931; Иванов, Силина 和 Цельникер, 1952)；可以大致认为：蒸騰速度是太阳輻射强度和空气飽和差的綫性函数 (Сабинин, 1955)。

土壤湿润程度对不同地理地区內植被的水分損失有頗大意义 (Тольский, 1910; Shreve, 1914; Ильин, 1915; Максимов, 1917, Александров, 1924; Stocker, 1928; Кокина, 1929, 1935; Schratz, 1931; Shapiro 和 Forest, 1932; Васильев, 1931; Pisek 和 Cartellieri, 1939; Henrici, 1943; Бейдеман, 1947; Иванов, Силина 和 Цельникер, 1952; Walter, 1951, 等等)。已經闡明，土壤中水分的有效性是对蒸騰水分損耗的速度和大小影响最大的因素之一。比較几种不同湿度的土壤样品的結果 (Paauw, 1949)表明：一般說来，随着土壤湿度减少，蒸騰显著下降，而且，很湿润的土壤和湿润土壤上的蒸騰强度的差別不大，但在干燥和很干燥的土壤上，差別很大。

在决定蒸騰速度的各种条件中，占有头等地位之一的應該是周围大气的水汽飽和差。可以认为已經証实，蒸騰速度对飽和差值大致存在着綫性的依賴关系 (Paauw, 1949; Сабинин, 1955, 等等)。Л. А. 依万諾夫、А. А. 西里娜和 Ю. А. 采尔尼克尔 (1952)

曾經發現，在草原地帶（捷爾庫里）和森林地帶（莫斯科附近）條件下，空氣濕度對喬木蒸騰的影響有很大差別。例如，在森林地帶，當空氣濕度下降時，蒸騰顯著地增加；但在草原地帶，它的變化很小。

除了決定植物水分損耗過程的自然條件外，在蒸騰的調節過程中起重要作用的還有植物本身。存在着這樣一個共同觀點，即植物的蒸騰能力取決於植物的生物學特性、結構差異、發育情況和生理狀態。以一定的形態學和解剖學結構（其中特別有意義的是葉片的結構和根系結構、葉面、角質層厚度、氣孔的數量和大小等等）表現出來的植物的多種多樣的適應性可促使蒸騰的減小。

按照現代的概念，調節蒸騰的因素可能有氣孔因素，也有氣孔以外的因素（Livingston 和 Brown, 1912; Briggs 和 Schantz, 1916; Максимов, 1917, 1926, 1931, Васильев, 1931; Hygen, 1951; Halevy, 1956, 等）。例如，卡拉庫姆沙漠植物主要是在氣孔關閉的情況下調節蒸騰（Васильев, 1931）。根據 Л. А. 依萬諾夫、A. A. 西里娜和Ю. А. 采爾尼克爾（1952）的資料，有一些森林樹種的氣孔運動起著很大的作用，而另一些樹種的氣孔運動所起的作用很小。同時，在足夠濕潤的條件下，氣孔的作用比在水分不足的情況下表現得比較明顯。已經闡明（Rawitscher, 1955），生長在熱帶稀樹草原的許多常綠灌木，在乾旱時期蒸騰強烈時，氣孔的調節作用是很小的。蒸騰水分支出取決於極深根系的供水作用。

H. A. 馬克西莫夫（Максимов）的許多試驗（1917, 1931）表明，氣孔在植物輸出水分中的調節作用不大。H. A. 馬克西莫夫的資料令人信服地說明，在蒸騰過程中，根的水分收入是最強烈的調節因素。例如，由於根系分布在具有不同水分儲量的土壤不同層次中，植物的水分供應也就不一樣，這一點決定了蒸騰的這種或那種強度（Киселев 和 Осипов, 1934; Кокина, 1935; Генкель, 1946; Бейдein, 1947; 等等），從而決定了植物在整個生長期的水分消耗總量。因此，在調節植物水分損耗方面，根系起著很大的作用。

蒸騰指标

研究蒸騰通常利用的指标是蒸騰强度，即植物消耗水分的速度，以单位時間內单位面积上，单位鮮重或干重物质的水分重量或体积单位表示，或以占植物总含水量的百分数表示。也有其他的，但不很常用的蒸騰指标，即相对蒸騰 (Livingston, 1906) 和蒸騰阻力 (Seybold, 1929)。蒸騰强度 (以单位叶面 1 小时所蒸騰的克数計算) 与单位自由水面的蒸发强度之比称为相对蒸騰。

植物輸出汽态水要遇到一系列的阻力，这些阻力决定于植物的活体特性，特別是形态-解剖特征，当时的胶体数量和生理状况 (例如，从土壤中輸导和吸收水分的速度的变化等)。“蒸騰阻力”的概念是重要的，因为它反映了作为生理过程的蒸騰与物理蒸发的基本差別。不同植物的和不同条件下的蒸騰阻力可能极不相同。

有些科学家 (如 Seybold, 1929) 研究了植物所发展的、可能的阻力綜合。由于一系列形态、解剖和物理-化学性质的特点，使植物的水分蒸发复杂化了，所以单位叶面上的蒸騰通常沒有达到自由水面蒸发的数值。这一差別被看作为蒸发阻力的相对尺度，被看作蒸騰的延緩。为了計算以百分数表示的蒸騰阻力，需要注意的是：1 平方厘米自由水面 1 小时內的蒸发量毫克 (E)，植物蒸騰量毫克 (T)，风速增大、溫度升高或其他原因所引起的 E 和 T 的增量。蒸騰阻力等于 $\frac{(E-T)}{E} \times 100$ (Л. А. Иванов, 1957)。

已經确定 (Seybold)，高溫对植物蒸騰的抑制有强烈的影响；叶片的溫度愈高，蒸发受到的阻力愈大。估算蒸騰阻力要求精确地觀測叶子的溫度，在野外条件下，这是一項非常复杂的工作。

因此，“蒸騰阻力”的概念在科学中还没有被通用起来 (Максимов, 1944)。后来，Л. А. 依万諾夫 (1957) 的實驗証明：測定阻力并无特殊困难，并且阻力的原因可能是各不相同的 (在有风、高溫等情况下研究蒸騰阻力)。

测定蒸騰强度的方法

在文献中广泛地討論了测定蒸騰損耗的方法 (Burgerstein, 1920; Максимов, 1926; Stocker, 1928; Arland, 1929; Иванов, 1946; Hygen, 1951, 等等)。蒸騰測量可以根据被蒸发水量的直接計算, 根据重量損耗的資料或根据定性的比較估算。現有的测定植物蒸騰的方法主要有两大类: 定性的和定量的。为了較准确地說明每一类的特点, 下面将分別詳細討論。

测定植物蒸騰的定量方法

定量方法种类很多, 可以作下列的分类:

- 1) 蒸騰計方法, 其基础是按照植物吸收的水分数量来测定蒸騰;
- 2) 以重量損耗測量蒸发为基础的方法: (1)生长在培养器中的植物的水分損耗, (2)剪下的植物部分的水分損耗, (3)整株植物的水分損耗, (4)植被的水分支出;
- 3) 气量計方法, 其基础是测定植物在蒸騰过程中析出的水汽数量;
- 4) 日射觀測法, 其基础是测定投射到植物上的太阳能量。

上述定量方法大多数都可用于剪下的植物部分或整株植物蒸騰的研究; 这些方法应用于研究整个植被水分損耗的可能性較少。因此, 下面討論一下各种研究蒸騰的方法分別应用于剪下的植物部分、整株生根植物和植被的可能性。

植物剪下部分蒸騰的測定方法

蒸騰計方法是测定植物蒸騰最早采用的計重法之一。在采用此方法时, 是根据置于蒸騰計上的剪下的植物或用溶液培养的植物在一定時間間隔內所吸收的水分数量来研究蒸騰。显然, 这种方式只能对水分的实际損耗 (Максимов, 1944) 及对自然条件下植

物耗水过程的强度得出一个非常粗略的概念。但是, B. C. 伊里因 (Ильин, 1915) 曾經采用蒸騰計方法以研究草原植物的蒸騰, 而 A. B. 布拉戈維先斯基 (Благовещенский) 和 B. Г. 托謝維科娃 (Тощевикова, 1923—1924) 用以研究山地植物。

流行頗广的和最适于野外生态研究的現代蒸騰測定法是快速称重法 (Иванов, 1918; Huber, 1927), 这一方法反映了刚刚剪下的整株植物或植物的一部分的真实失水过程。快速称重法是基于这样一个假設: 剪下的植物茎的蒸騰不是馬上就发生变化, 而是在过了若干时间之后。H. A. 馬克西莫夫 (1944) 认为这个方法是极为准确和灵敏的。

許多研究者在采用快速称重法时曾經注意到: 在开始时, 即刚剪下之后, 发现蒸騰强度很高, 然后又以这种或那种速度下降下来。这种現象是由于: 当剪茎时, 为叶子吸收作用所拉紧的水絲断裂了, 于是, 叶子中水分运动的阻力减弱, 因而, 蒸騰加速。在剪下后的第一分钟內, 蒸騰强度的这种急剧上升导致了“突变”的形成。然后, 当导管中消耗于蒸騰的水分得不到新輸送来的水分的弥补时, 在一定时间內剪下的枝就均匀地消耗水分, 因为蒸騰与每一种生理过程一样, 具有一定的慣性。

應該指出, 許多其他的研究者并沒有发现蒸騰的突变。如阿尔兰德 (Arland, 1929) 在具有恒溫和人工光照的房間里工作时, 沒有发现在剪枝之后有任何蒸騰增高的現象。

在以色列进行的某些實驗工作 (Elazary-Volcani, 1938, 根据 Halevy, 1956 的引文) 确定, 未受损坏的植物和剪下的植物的蒸騰白天变化过程的一致性程度很高。在两种情况下, 耗水量相同。

爱格尔 (Eger, 1958) 最近的一篇文章討論了快速称重法对研究草甸植物蒸騰的适用性。由于試驗前的条件不同, 主要是初始蒸騰强度不同, 不同植物种在剪枝后蒸騰的变化也极不一致。作者认为: 对剪枝的反应不同 (同一种植物在剪枝之后或者保持原来的蒸騰值, 或者升高或者降低), 显然是由于不同的植物水分状况的結果而产生 (Wasserzustände)。水分状况与气孔的运动、原生质的

粘滯性、吸收力、水分亏缺有关，也与許多其他决定蒸騰阻力的原因有关。由于所研究的草甸禾本科植物 (*Poa pratensis*, *Holcus lanatus*, *Arrhenatherum elatius*) 的蒸騰白昼曲綫进程上所出現的偏差，最低限度有一部分是基于方法上的錯誤，所以爱格尔认为快速称重法对这些植物是不适用的。

賦予突变作用以很大意义的学者們 (Л. А. Иванов, 1918; Рихтев和Страхов, 1929; Иванов, Силина和 Цельникер, 1950) 认为，剪枝后所发生的突变可以避免。为此，在植物剪枝时必須上蜡。

在一篇著作 (Родионов, 1955) 中証明，在采用快速称重法时上蜡不是必要的。Л. А. 依万諾夫反对 M. C. 罗吉奧諾夫 (Родионов) 的意見，他认为 (1956)：只有在个别情况下，即当从土壤中吸收水分沒有遇到阻力时，罗吉奧諾夫的意見才是正确的。但当土壤水分不足，导管中耗于蒸騰的水分的亏损不能得到輸送来的水分弥补时，就引起蒸騰强度的急剧上升。

由于这个原因，Л. А. 依万諾夫 (1956) 写道：“……應該承认，暫时我們还没有一个完整的‘突变’理論，也不能有把握地預卜突变，为了要有保証地获得可靠的蒸騰数值，不得不采用上蜡剪枝”。

因此，在現有的关于方法論的文献中，測定蒸騰强度时应否考慮突变的問題，暫时还没有一致的意見，因而，关于如何进行剪枝——上蜡或不上蜡——的問題，也沒有共同的意見。虽然意見分歧，但在选择曝露时间时，仍然必須仅可能考慮突变的影响。

采用快速称重法时，應該研究每一个选定对象的合适的曝露时间。决定容許的曝露时间的任务在于：确定叶片在剪下后多久不会发生生理上的变化，在多长时间內水分輸送量不会有明显的变化。

为了正确地选择曝露时间 and 肯定它的客观意义，必須在不同曝露时间 (1—10 分钟) 内对同一个被研究的种的蒸騰强度作一系列的観測。根据获得的資料可以作出不同曝露时间下的蒸騰强度曲綫。

根据曲綫上不表現蒸騰过程对曝露时间的依賴关系的部分，

可以比較不同植物种的蒸騰强度。

对不同植物所采用的曝露时间不同，这一点可以根据許多作者的文章看出。И. М. 华西里也夫(Васильев, 1931)确定，生长在卡拉-庫姆沙漠中的植物在剪下經過 2—3 分钟后蒸騰强度很长時間几乎保持一样。因此，为了計算植物蒸騰，曝露 2—3 分钟就完全可以允許了，因为作者沒有在它們之中任何一个，在第二次称重結束时，觀察到失去膨压的現象。В.Ф. 庫普列維奇(Купревич)、Ю. С. 格里哥利耶夫(Григорьев)和 Е. К. 尼茲科夫斯卡娅(Низковская)在研究帕米尔-阿賴山若干种植物剪下的叶子曝露所必需的时间(1949)时，曾經指出在剪下后第一分钟內获得的蒸騰資料就有足够的准确性。

哈列維(Halevy, 1956)对以色列許多旱生树种所作的試驗表明，在剪枝后 4 分钟內，蒸騰强度仍然保持不变，但再过一定时候，就开始下降了。

測定整株植物水分支出的方法

測定連根的整株植物蒸騰的方法或营养培植法，使我們有可能，借助于經過一定時間間隔的称重来判断重量的損失。平行地登記外界环境的这些或那些因素，有助于确定植物水分損耗与外界因素之間的依賴性。布里格斯和香茨(Briggs 和 Schantz, 1916)、В. Г. 亚历山大罗夫(Александров, 1924)、帕烏(Рааuw, 1949)等广泛地采用了这一方法。然而，用栽培在培养器中的植物所获得的結果不能搬到生长在野外的植物上去。

营养培植法有許多优越性，但非常复杂，而且在野外条件下很难实现。由于它不能完全反映植物生长的自然情况，所以应用范围非常有限。

Г. А. 耶夫图生科(Евтушенко, 1947)的有趣試驗是不破坏植物与土壤和整个外界环境的联系，而在野外条件下对植物蒸騰的水分消耗作重量估算。这一試驗是用所謂野外蒸騰計来进行的。野外蒸騰計是普通扭秤，經過了这样的改装：預先用 30%-M (克

分子浓度)的氯化鈷溶液浸湿又晾干了的滤紙圈緊貼在植物的蒸騰叶上面,而叶片的空間位置沒有多大改变。滤紙在一定時間內吸收的水分重量的增加,提供了关于蒸騰的概念。用簡化的蒸騰計可以在自然条件下同时进行大量的測定,因此,作者认为这种方法有很大的优越性,在研究蒸騰的昼夜动态变化时特別重要。比較地評定用野外蒸騰計和普通的快速称重法所获得的蒸騰值表明,資料彼此很接近(Евтушенко, 1947)。

什托克尔 (Stocker, 1928) 在埃及荒漠工作的时候,他測定过連根拔出的和在試驗开始前植物所在地的同一地点暴露一小时的整株植物的水分消耗。該学者认为,他采用的曝露时间是可以允許的,因为植物沒有出現明显的萎蔫現象就是植物蒸騰在这一時間內沒有发生变化的标志。大多数其他研究者认为这不完全正确,因为不同植物的萎蔫現象可能不是在相同的脫水程度下出現。

不久以前 E. B. 热姆丘希尼科夫 (Жемчужников)、A. B. 維列健尼科夫 (Веретенников) 和 A. A. 科切尔尼科娃 (Котельникова, 1955) 研究出測定整株树的水分消耗的方法很有意义。这是用預先悬在支架上的特殊的秤称整个树冠的重量 (树冠是在树木砍下后立即鋸下的),然后估計蒸騰水分消耗。

阿尔兰德 (Arland, 1953) 所制定的萎蔫方法 (Anwelkmethode),使我們有可能以技术天秤在野外迅速地研究一系列植物的蒸騰。用这种方法时,整个植物連同上部根系被从土中拔出来,把根系浸入蜡中,以便防止水分損失。将带着上有蜡的根的植物称重,然后放置在它們生长的地方 30 分钟,因为在德国的条件下,在这个時間內开始出現萎蔫現象(該学者指出,曝露时间对于在另外的气候条件下的不同植物种可能极不一致)。根据 30 分钟內損失的重量,就可以計算出每 100 克綠色物质的絕對蒸騰。

最后,为了測定整株植物的水分消耗,可以利用气量計法,这种方法的基础在于直接測出蒸騰过程中叶片排出的水汽数量 (Arland, 1929, 1953; Schratz, 1931; Арциховский, 1938)。把被研究的植物置于玻璃罩下或安装有充滿吸水物质的管子的冷却室

中(Arland, 1953)。借助于适当的设备, 空气以一定的速度被吸入室内。空气将植物排出的水汽带走, 通过吸收器, 水汽就在吸收器中降落。根据吸水物质重量的增加, 计算植物排出的水分数量。

测定自然条件下植物蒸腾的气量计方法, 在精度方面超过所有其他方法, 但是, 由于玻璃室及室内一切必须的设备的装置很复杂, 这种方法流行还不广。

测定植被水分消耗的方法

至于直接测定整个植被所蒸发的水分数量, 那么到目前为止还没有直接的方法。因此, 不同区域植被的水分消耗还是一个研究得不够的问题。在这方面值得特别注意的是根据土壤水分平衡测定蒸腾消耗的方法(Высоцкий, 1904; Попов, 1933; Молчанов, 1948; Рутковский, 1949; Васильев, 1949, 1954)。拥有该植物群落生长期开始和结束时的土壤水储量的资料, 这一时期降水和蒸发以及土内径流的数值, 就可以借助于消元法用相应的公式算出蒸腾水分损耗。这个方法提供很好的结果, 但需要进行多年的研究, 而且非常复杂费事。在潜水位接近地表的地方, 应用这个方法还遇到困难。

Л. А. 依万諾夫、А. А. 西里娜、Д. Г. 日穆尔和 Ю. Л. 采里尼
克尔(1951)提出的测定立木蒸腾的所谓温度计重法(Термо-Весо-
вой Метод) (是快速称重法的变种) 非常有意义, 而且很重要。
根据这个方法, 可以确定一定时间内单位面积上森林的总水分消
耗。作者们发现的足够湿润条件下蒸腾和气温之间的有规律的关
系是这个方法的基础。这种关系表现为高度的相关系数。因此,
知道了气温, 就可以计算出不同树种的蒸腾强度。为了计算森林
立木水分消耗的总量, 必须利用尽量多的每小时观察到蒸腾变化
的日数。蒸腾测定的所有资料, 都应与在每次试验时靠近取枝地
方测得的气温值联系起来。

由于蒸腾和气温之间的相关程度很高, 因此, 知道了气温, 就
可以计算出这个温度条件下的蒸腾。借助于相应的方程式, 可以

根据气温计算出不同树种的蒸腾强度。为了计算蒸腾的水分消耗，要利用气象观测站的月平均气温资料。根据平均蒸腾强度的值，和根据生长期植物进行蒸腾的时间，就可以计算出蒸腾数(Иванов, Силина, Жмур и Цельникер, 1951)。整个林分在生长期的蒸腾水分消耗，可以蒸腾数乘单位面积植物叶子物质质量的数值求得。

计算森林水分消耗的日射测定法(Иванов и Силина, 1955)有很大意义。大家都知道，林冠所吸收的全部太阳能量几乎全部消耗于蒸腾过程。这个方法是基于树冠反射的和透过树冠的太阳辐射能量的计算。知道了在生长期投射到单位面积上的能量，就可以计算树叶所截阻的，也就是消耗于蒸腾的那部分能量。这个数值除以温度20°时1公斤水变为水汽所需的热量卡数，就得出了1公顷森林所蒸腾的水分数量。得出的公斤数可以换算为水深毫米/公顷。这样就便于与称重法或土壤水分平衡法所求出的森林蒸腾值相比较。

学者们认为，为了得到最正确的和最客观的资料，在不同地理地带条件下采用日射测定法时，应该补充测定两个数值：树叶及其周围空气的温度，和树叶和空气之间的热量交换(用相应的公式计算)。根据这个方法，使我们有可能估算不同景观范围内光线和温度状况的特点。

为了确定植被的水分消耗，我们认为似乎可以利用M. A. 雷卡切夫(Рыкачев, 1898)的整段标本法。根据这个方法，可以测量植被单位表面(在M. A.雷卡切夫的著作中是确定草甸生草丛的蒸发)在长时间内(昼夜、生长期)所丧失的全部水分数量。如果常常更换整段标本(大约每隔3小时)和每隔一小段时间(每隔30分钟)就进行称重，可以得出相当准确的关于这一或那一植物群落单位面积的蒸腾值的资料。此外，也可以知道，在研究时段内影响植物蒸发的所有因素综合作用下，蒸腾数值的变动。

应用整段标本法只可以研究草本植被类型的总蒸腾，有时也可研究半小灌木植被类型的总蒸腾。试验样地应该仔细挑选，尽

可能具有代表該植物群落特征的一致結構。因此，在隨后各次采
取标本时，应保持它們在典型性意义上的一致性。

И. Н. 貝德曼 (Бейдеман, 1956) 所建議的，研究植物群落水
分状况的布置是非常合理的，也是現代化的。作者建議同时从事
植物蒸騰、土壤水分状况、潛水和气象因素状况的研究。这些資料
的总体使我們有可能建立关于联系土壤中的水分資源和气象条件
的植被水分支出的完整概念。

确定未触动的植被的水分支出还有其他的可能性，例如我們
在帕米尔条件下所用的方法 (Свешникова, 1957)。我們同时对
比了三种类型样地 (样地面积 5 米²，重复 4 次) 土壤剖面的水分损
失，这三块样地是：(1)植被原封未动的样地；(2)植物地上部分完
全去除了的样地，土表完全敞露；(3)植物地上部分也同样去除了
的样地，但由于借助于上面盖有一层厚 10—15 厘米的土的护板或
油毡的隔离，沒有土壤表面的水分蒸发。

采用快速称重法計算整个植被所消耗的水分时，除了一天內
和生长期間不同时段的蒸騰强度資料外，还需要其他一些資料
(Свешникова, 1957)。

为了計算单位面积上植被的水分支出，我們应拥有下列的資
料：(1)整个植物 1 天內的水分損失；(2)大小中等的整株植物的
全部蒸騰物质的重量；(3)单位面积上进入該植物群落的、每一个
植物种的植株数量。下面較詳細地叙述一下每一个这些数值的測
定方法。

例如，关于适合于东帕米尔荒漠植被条件的一棵中等植株的
綠色物质的平均重量的概念，是根据对蒿类-优若藜荒漠群聚的各
个植物种同时进行 30 次重复的采样得出。在生长期間这种測定
进行 7—9 次，以便反映植物蒸騰物质在各基本发育阶段的增长和
下降动态，并計算它在总的水分支出中的意义。

在确定生活在东帕米尔高山地域的每一个植物种的植株数量
时，我們曾經进行了 10 平方米样地的 80 次重复，并折算成每 1 公
頃的株数。最后，用一个植物的蒸騰物质的平均重量乘以 1 克鮮叶

的蒸騰水分損失數量，就算出這個植物的日蒸騰。葉片鮮重根據蒸騰日曲線面積計算，而後者是以曲線連接從早晨7點到下午7點的日進程各點而成¹⁾。

單位面積上植被的水分支出按下列方法計算：以1公頃面積上一個植物種的植株數，乘該種一個植物在一天內的蒸騰水分損失數量（在生長期的不同時間內）。得出的是在一定日期1公頃上該種植物全部植株的水分支出。這一數值乘以每一個隨後的蒸騰日進程（在整個生長期中通過好幾次）之間的晴天日數。將所獲得的植物生長期各個時段的水分支出總量相加，就得出一個植物種在整個生長季的蒸騰水分總支出量。

對該樣地上遇見的其他植物種也同樣進行這種順序計算。然後，計算組成這一或那一植物群系的全部植物種的蒸騰水分總消耗。

測定植物蒸騰的定性方法

定性方法中最常用的是鉻測定法，這個方法非常簡易，可以測定留在未經損害的植物上的葉片輸水速度。例如，用這個方法很容易發現葉的上面和下面、陰葉和陽葉等等在水分輸送速度上的差別。鉻試驗法（Метод кобальтовой пробы）（Stahl, 1894, 引自Костычев, 1933; Livingston 和 Brown, 1912; Максимов, 1926 等）是根據：濾紙（用氯化鉻浸濕的）當其吸收葉面蒸發的水汽時，顏色改變。根據鉻紙（緊貼在葉面上）由淺藍變為粉紅色所需時間，就可以判斷植物的蒸騰強度。通常是藍色消失和向粉紅色過渡時，就可知道反應結束了。反應的開始和結束用秒表計算。以在5秒內呈現粉紅色的速度作為最高速度——100%。

但是，按照 И. М. 华西里也夫（Васильев, 1931）、Н. Н. 基謝列夫和 А. П. 奧西波夫（Киселев 和 Осипов, 1934）、П. А. 根克爾

1) 計算中等整株植物蒸騰質量的重量，以及計算其他植被類型如草甸、森林等單位面積上每一植物種的株數的重複次數，我們認為在每種情況下應該借助於經驗方法，根據這些數值允許的偏差（統計方面）範圍來確定。

(Генкель, 1946)等人的意見，根据变色反应(什塔尔的鉻試驗法及其一切变种)的蒸騰測定法的用途不大，因为当叶片貼上試紙时，在叶面上形成与正常情况不同的条件，蒸騰会馬上发生变化。此外，借助于鉻測定法只能获得蒸騰的定性鑑定，根据它只能判断蒸騰的相对值。李文斯頓 (Livingston, 1906) 认为：采用鉻試驗法可以得出蒸騰强度的絕對值。这种可能性在于：将敏感的試紙貼在在单位面积上具有一定蒸发值的蒸发計表面，将它变紅的速度与貼在叶面上的試紙变紅过程相比較。这样得出的蒸騰指标，比用其它方法測出的指标低得多。

A. A.尼奇波罗維奇(Ничипорович, 1926)和 B. M.阿尔齐霍夫斯基(Арциховский, 1938) 企图克服鉻試驗法的主要缺点——不能获得定量指标——但沒有得到預期的結果。

上面簡單地介绍了測定蒸騰的几种基本方法，在一些專門的指南(Burgerstein, 1920; Максимов, 1926; Hygen, 1951 等)中可以找到这些方法的詳細說明。應該指出，采用每一个这些方法的可能性取决于提出的任务。当必需求出蒸騰的相对定性鑑定时，可以采用鉻試驗法。用营养培植法使我們有可能分析任一因素对植物水分損失强度的作用。采用气量計方法測定蒸騰能达到最大的精度，但很遺憾，用这种方法組織研究工作在目前还很难实现。

实践中应用最广的是快速称重法。虽然这个方法也还存在缺点，但得出的結果接近于生长在自然条件下的植物所固有的蒸騰值，根据这些結果，可以对水分損耗进行比較評價。我們认为，为了进行野外工作采用阿尔兰德(Arland, 1953) 提出的萎蔫法有很大的意义。應該指出，尽管測定蒸騰的計重法流行很广，但在許多情况下，需要檢驗它們对不同植物类型的适用性，并要求制造特殊结构的天秤。

关于蒸騰值的計算

为了对植物进行生理的和生态的鑑定极其重要的是測定植物

在蒸騰过程中所損失的水分数量。因此,当比較研究不同植物种的蒸騰时,总是产生一个問題,即蒸騰值应如何表示。在比較不同类型和不同生境的植物时,选择适当的計算方法极为重要(Генкель, 1946)。可以計算植物干重或鮮重的蒸騰水分損耗,也可以計算植物中总水分数量的蒸騰水分損失計算单位叶面的蒸騰水分損失。

最通行的方法是根据蒸发表面計算植物叶子的水分損耗。在这种情况下,根据 H. A. 馬克西莫夫、Л. Г. 巴德里也娃和 B. A. 西莫諾娃(Максимов, Бадриева 和 Симонова, 1917)的意見,对比处于同一外界条件下的一系列植物的蒸騰强度,就可以判断,这一植物种比另一植物种消耗水分的能力强多少。但应注意: 在比較阴生植物型和阳生植物型、比較具有退化叶的植物和发达叶片的植物等情况下,这种計算方法可能导至很大的誤差。

H. A. 馬克西莫夫(1926)认为最适当的是計算蒸騰占叶片含水量的百分率,因为这样反映了植物消耗水分的速度。

瓦爾特(Walter, 1925)认为計算蒸騰强度的最好方式是計算蒸发器官单位鮮重所蒸騰的水分数量。这个方法最簡易, 最适于大量的計算,但在应用它时不能忘記,蒸騰强度一点也不能說明植物消耗水分的速度(Генкель, 1946)。此外,大家知道,植物鮮重不仅在生长期,而且在一昼夜內都是一个变化很大的数值。

根据常用的計算植物干重的蒸騰方法(Ильин, 1915),不能比較不同植物种的蒸騰值(Максимов, Бадриева 和 Симонова, 1917),显然,这是由于植物叶子的干重并不是一个固定的指标。当然,上述每种計算蒸騰的方法都各有缺点,因此,按照海肯(Hygen, 1951)的意見,在采用快速称重法时,对于被比較的具有共同形态结构特征的植物來說,蒸騰可以換算为蒸騰面,蒸騰器官鮮重的蒸騰,或者換算为植物总含水量的百分数。当比較結構特征和生态特性很不相同的植物种时,應該同时采用不同的計算方法(如对鮮重和叶表面等等)。

近年来,还出現了关于計算植物蒸騰水分損耗的另一些意見(Oppenheimer, 1951)。例如,計算整个蒸发表面的鮮重蒸騰或植

物根系所占据的单位面积的蒸騰时，关于强烈蒸騰或微弱蒸騰的植物的概念可能根本改变。事实上，如果（举例來說）以高的蒸騰强度为特征的許多旱生植物在換算为干重、鮮重或叶表面时，是耗水很多的植物的話，那么在按它們所占据的单位面积計算时，则由于密度很稀和叶表面不发达，这些植物就成为消耗水較少的植物。

我們在帕米尔所作的研究也使我們深信，只有計算由每一个植物种所形成的全部地上綠色质量的重量的和单位面积上的植被水分消耗量时，才能获得关于植被所消耗的水分总数量的正确概念。

在自然条件下研究植物蒸騰时进行試驗的順序

着手研究自然生长条件下这一或那一植物群落的植物所損耗的水分时，开始应选择固定的样地，样地上的植物数应能滿足研究者的兴趣，以便能充分进行全部預計的試驗循环。必須这样地挑选植物，使用作試驗的所有植株尽可能年龄相同，外貌和发育情况相似，并且对于該生境來說都是典型的植物。

供研究蒸騰用的对象的选择取决于提出的任务。然而，比較材料的挑选原則應該一致，即：第一，进行試驗的必須是生长在对于它們是典型的生境的植物，第二，試驗植物的年龄應該相同。为了求得蒸騰强度的平均值，必須研究大量的植物个体。在試驗的前一天选择好将要測定蒸騰的植物。对选择好的試驗对象依次从一定的层次¹⁾或从植物茎上取两根，最好是三根平行的枝条試样（每个枝条单独称重），或者取整株植物，如果植株不大的話（例如短生植物、一年生猪毛菜、多年生草甸或草原植物）。同时測定許多对象的蒸騰往往很困难。建議在 1 天內研究不超过 3—4 种植物（如果一个人工作的話）。不同植物种的蒸騰差別是如此之大，以致个

1) 将計重法应用于大株植物时，就产生了供試驗用的树枝的大小問題。文献中一再提到，剪枝愈小，它的蒸騰就愈高，萎蔫愈快 (Schratz, 1931; Кокина, 1935)，因此，树枝应尽可能地大。

別日子的气象条件的不大差别很少影响获得的结果。

試驗开始前，應該确定为了測定被研究植物种的蒸騰强度所需的曝露时间。在討論快速称重法时，我們已經談过决定这个时间的方法。

确定了用什么曝露时间，就可以开始植物蒸騰的研究。开始时，在一昼夜内，应每隔40—60分钟进行一次測定，以便确定蒸騰强度昼夜变化的性质和被研究植物种的蒸騰日的持續时间。然后，測定被研究植被的主要代表植物1天內的蒸騰强度，从黎明开始到黃昏，觀測時間間隔是1—2小时。在整个生长期內，对每一組研究的植物种每月要进行不少于3次的这种日“进程”測定，如果可能的話，最好測6—7次。这样順次的測定給計算一昼夜水分总支出提供可能，也对計算整个生长期的水分总支出提供了可能。

在每一順序日測定3—4种被研究植物的蒸騰强度。在試驗結束时必須立即計算木质化部分的重量，以便在計算水分損失时仅仅注意綠色的蒸騰部分。如果有必要收集有关叶表面的資料，則應該把这些叶片貼在感光紙上，使留下印痕。

每次測定蒸騰的时候，必須指出气象要素——溫度、空气相对湿度、云量——的状况。由于影响蒸騰的主要外界因素是空气相对湿度和蒸騰器官与周围空气的溫差，所以确定植物对生境湿度及其热状况的反应特別重要(Klika, Novák, Gregor, 1954)。由于这个原因，必須在試驗进行的同时觀測植物蒸騰器官所在地方的空气湿度和气温。这样使我們有可能发现外界环境和蒸騰的这种或那种联系。

积累了有关蒸騰强度的直接測定的資料，还不能形成关于在不同植物种蒸騰过程中觀察到的差异的原因的完整概念。正如已經指出过的，必須注意到，气孔¹⁾和根系的活动、水分亏缺的存在等等对蒸騰强度的日进程都有影响。

1) 在 H. H. 依万諾夫的指南(Иванов, 1946)中叙述了研究气孔运动的方法。

將蒸騰水分支出的研究與土壤水分以及甚至潛水（如果植物利用它們的話）狀況的研究結合進行，是最客觀地評價所獲得的蒸騰資料的重要條件之一（Бейдеман, 1956）¹⁾。

如果有確定個別外界因素，特別是強烈地作用於蒸騰的外界因素的影響性質的任務時，那麼，可以在野外條件下設置簡單的試驗。例如，可以建立不同的光照（用白色材料的屏障、膠合板、紗布等遮陰）和土壤濕度（藉助於阻止降水滲入土壤，或相反，進行補充灌溉等等）條件，並在這個背景上對被研究的植物種進行蒸騰強度的比較測定。

（李 恒譯，陳昌篤校）

參 考 文 獻

Александров В. Г. 1924. Об интенсивности транспирации некоторых травянистых растений. Зап. н.-прикл. отд. Тифл. ботан. сада, вып. 4.

Арциховский В. М. 1938. Кобальтовая проба как метод изучения транспирации. Сов. ботаника, № 4—5.

Бейдеман И. Н. 1947. Сезонный ход интенсивности транспирации некоторых растений в условиях полупустынного климата Северного Мугана. Докл. Акад. наук АзССР, т. 3, № 7.

Бейдеман И. Н. 1956. К методике изучения водного режима растений. Ботан. журн., т. 41, № 2.

Благовещенский А. В. и В. Г. Тощевикова. 1923—1924. Исследования над водным балансом у горных растений. Бюлл. Среднеаз. гос. унив., вып. 6.

Васильев И. М. 1927. Суточный ход транспирации у пшениц. Тр. Сев.-Кавк. ассоц. н.-исслед. инст., т. 28, № 7.

Васильев И. М. 1931. Водное хозяйство растений песчаной пустыни юго-восточные Кара-Кумы. Тр. по прикл. бот., ген. и сел., т. 25, вып. 3.

Васильев И. С. 1949. Опыт определения величины дессикации древесной растительностью. Вопр. географии, сб. 13.

Васильев И. С. 1954. О водном режиме подзолистых почв. Тр. Инст. леса АН СССР, т. 22.

Высоцкий Г. Н. 1904. О взаимных отношениях между лесной растительностью и влагой, преимущественно в южнорусских степях,

1) 參看本卷(161 頁) И. Н. 貝德曼和 Р. А. 費連科的文章。

ч. 1. Тр. опыт. лесничества, вып. 2. СПб.

Генкель П. А. 1946. Устойчивость растений к засухе и пути ее повышения. Тр. Инст. физиол. раст. АН СССР, т. 5, вып. 1.

Гордеева Т. К. 1952. Интенсивность транспирации растений комплексной полупустыни междууречья Волга—Урал. Ботан. журн., т. 37, № 4.

Гранитова О. Н. 1937. Этюды по физиологии некоторых пустынных растений. Бюлл. Среднеаз. гос. унив., вып. 22.

Евтушенко Г. А. 1947. Полевой метод весового контроля расходования воды растениями на транспирацию в орошаемых условиях культуры. Изв. Кирг. фил. АН СССР, вып. 6.

Жемчужников Е. А., А. В. Веретенников и А. А. Котельникова. 1955. Определение транспирационной способности крон сосны. Физиол. растений, вып. 4.

Иванов Л. А. 1918. О методе определения испарения растений в естественных условиях их произрастания. Лесн. журн., № 1—2.

Иванов Л. А. 1946. Свет и влага в жизни наших древесных пород. Тимирязевские чтения, XV, Изд. АН СССР, М.—Л.

Иванов Л. А. 1956. О методе определения транспирации на срезанных побегах. Ботан. журн., т. 41, № 2.

Иванов Л. А. 1957. Транспирационное сопротивление и влияние на него высоких и низких температур. Физиол. растений, вып. 5.

Иванов Л. А. и А. А. Силина. 1955. Определение транспирационного расхода леса актинометрическим методом в связи с его энергетическим балансом в различных лесорастительных зонах. Физиол. растений, вып. 4.

Иванов Л. А., А. А. Силина, Д. Г. Жмур и Ю. Л. Цельникер. 1951. Об определении транспирационного расхода древостоем леса. Ботан. журн., т. 36, № 1.

Иванов Л. А., А. А. Силина и Ю. Л. Цельникер. 1950. О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях. Ботан. журн., т. 35, № 2.

Иванов Л. А., А. А. Силина и Ю. Л. Цельникер. 1952. О транспирации полезащитных пород в условиях Деркульской степи. Ботан. журн., т. 37, № 2.

Иванов Н. Н. 1946. Методы физиологии и биохимии растений. Сельхозгиз, М.—Л.

Ильин В. С. 1915. Испарение и ассимиляция степных растений. Изв. имп. Акад. наук, СПб.

Киселев Н. Н. и А. П. Осипов. 1934. Водный режим хондриллы и некоторых других растений песков. Изв. Акад. наук СССР, сер. VII, вып. 7.

Кокина С. И. 1929. Влияние влажности почвы на интенсивность транспирации и ассимиляции у растений. Изв. Гл. ботан. сада,

т. 38, вып. 1—2.

Кокина С. И. 1935. Водный режим и внутренние факторы устойчивости растений песчаной пустыни Кара-Кум. Пробл. растениев. освоен. пустынь, вып. 4.

Костычев С. П. 1933. Физиология растений, т. I. Сельхозгиз, М.—Л.

Купревич В. Ф., Ю. С. Григорьев и Е. К. Низковская. 1949. Водный режим некоторых видов рода *Cousinia* Памиро-Алая. Ботан. журн., т. 34, № 1.

Максимов Н. А. 1917. К вопросу о суточном ходе и регулировке транспирации у растений. Тр. Тифл. ботан. сада, вып. 19.

Максимов Н. А. 1926. Физиологические основы засухоустойчивости растений. Тр. по прикл. бот., ген. и сел., Приложение 26.

Максимов Н. А. 1931. Физиологическое значение ксероморфной структуры. Тр. по прикл. бот., ген. и сел., т. 25, вып. 1.

Максимов Н. А. 1944. Развитие учения о водном режиме и засухоустойчивости растений от Тимирязева до наших дней. Тимирязевские чтения, IV, Изд. АН СССР, М.—Л.

Максимов Н. А., Л. Г. Бадриева и В. А. Симонова. 1917. Интенсивность транспирации и быстрота расходования водного запаса у растений различных экологических типов. Тр. Тифл. ботан. сада, вып. 19.

Молчанов А. А. 1948. Расход влаги на отсасывание корневыми системами сосны в древостоях различного возраста и полноты. Докл. Акад. наук СССР, т. 59, № 8.

Молчанов А. А. 1950. Водный режим в сосновых борах на песчаных почвах. Тр. Инст. леса АН СССР, т. 3.

Ничипорович А. А. 1926. Определение транспирации в естественных условиях методом хлор-кобальтовой пробы. Журн. опытн. агр. Юго-Востока, т. 3, вып. 1.

Попов В. Н. 1933. Материалы и методика по изучению почвенной влаги. Тр. Инст. южн. плодов. хоз., т. 19.

Раскатов П. Б. 1940. Опыт учета транспирационных потерь насаждением. Научн. журн. Воронежск. лесохоз. инст., т. 6 (XXI).

Рихтер А. А. и А. Д. Страхов. 1929. Физиологические основы устойчивости растений Нижнего Поволжья. К методике определения транспирации в естественных условиях. Журн. опытн. агр. Юго-Востока, т. 7, вып. 1.

Родионов М. С. 1955. К методике определения интенсивности транспирации древесных пород. Ботан. журн., т. 40, № 1.

Рутковский В. М. 1949. Гидрологическая роль леса. Гослесбумиздат, М.

Рыкачев М. А. 1898. Испаритель для наблюдения испарения травы. Зап. имп. Акад. наук, т. 7, вып. 3.

Сабинин Д. А. 1955. Физиологические основы питания растений. Изд. АН СССР, М.—Л.

Свешникова В. М. 1957. Водный режим растений и почв высокогорных пустынь. (Рукопись. Ботан. инст. АН ТаджССР).

Свешникова В. М. и О. В. Заленский. 1956. Водный режим растений аридных территорий Средней Азии и Казахстана. Сб. «Вопросы географии», Изд. АН СССР, М.—Л.

Тольский А. П. 1910. Вегетационные опыты по исследованию испарения у сосновых сеянцев. Тр. по лесн. опытн. делу в России, вып. 23.

Arland A. 1929. Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd. 47, H. 3.

Arland A. 1953. «Fiebernde» Pflanzen-mehr Brot? Berlin.

Briggs L. J. and H. L. Schantz. 1916. Hourly transpiration rate on clear days as determined by cyclic environmental factors. Journ. Agric. Res., vol. 5, № 14.

Burgerstein A. 1920. Die Transpiration der Pflanzen, Bd. 2. Jena.

Eger G. 1958. Untersuchungen zur Methode der Transpirationsbestimmung durch kurzfristige Wägung abgeschnittener Pflanzenteils besonders an Wiesenpflanzen. Flora, Bd. 145.

Faber F. und A. Schimper. 1935. Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Aufl. 3. Jena.

Halevy A. 1956. Orange leaf transpiration under orchard conditions. Bull. Res. Council Israel, vol. 5, № 2—3.

Henrici M. 1943. Transpiration of grasses in the south Mountain grassvild of the Drakensburg in comparison with the water loss of indigenous forests. South Afric. Journ. Sci., vol. 39.

Huber B. 1927. Zur Methodik der Transpirationsbestimmung am Standort. Ber. Dtsch. Bot. Ges., Bd. 45, H. 8.

Hygen G. 1951. Studies in plant transpiration, I. Physiol. plantarum, vol. 4.

Klika J., V. Novák, A. Gregor. 1954. Prakticum fytoценологии, экологии, климатологии и пodoznalosti. Praha.

Livingston B. E. 1906. The relation of desert plants to the moisture and to evaporation. Carneg. Inst. Publ., 50.

Livingston B. E. and W. H. Brown. 1912. Relation of the daily march of transpiration to variations in the water content of foliage leaves. Bot. Gaz., vol. 53.

Oppenheimer H. R. 1951. Summer drought and water balance of plants growing in the Near East. Journ. Ecology, vol. 39, № 2.

Paauw F. van der. 1949. Water relations of oats with special attention to the influence of periods of drought. Plant a. Soil, vol. 1, № 4.

Pisek A. und E. Cartellieri. 1939. Zur Kenntnis des Wasserhaushalttes

der Pflanten. Jahrb. wiss. Bot., Bd. 88, H. 2.

Rawitscher F. 1955. Beobachtungen zur Methodik der Transpiration Messungen bei Pflanzen. Ber. Dtsch. Bot. Ges. Bd. 68, H. 8.

Rouschal E. 1938. Zur Ökologie der Macchien. Jahrb. wiss. Bot., Bd. 87.

Schratz E. 1931. Vergleichende Untersuchungen über Wasserhaushalt von Pflanzen im Trockengebiete des südlichen Arizona. Jahrb. wiss. Bot., Bd. 74, H. 2.

Seybold A. 1929. Untersuchungen über die Transpirationswiederstände und über die Temperature aegyptischer Wustenpflanzen. Planta, Bd. 9, H. 2.

Shapiro A. and H. Forest. 1932. A comparison of transpiration rates in chaparral. Ecology, vol. 13, № 3.

Shreve E. 1914. The daily march of transpiration in a desert perennial. Carneg. Inst. Publ., 194.

Stocker O. 1928. Zur Wasserhaushalt aegyptischer Wüsten und Salzpflanzen. Jena.

Walter H. 1925. Die Verdustung von Wasser in bewegter Luft und ihre Abhängigkeit von der Grösse der Oberfläche. Ztschr. Bot., Bd. 18, 1.

Walter H. 1951 — Grundlagen der Pflanzenverbreitung. B. III. T. 1 — Standortslehre.

植物土壤营养的研究方法

М. Г. 查依采娃 (Зайцева)

(苏联科学院植物生理研究所)

引言

土壤营养在植物的生活中起着巨大的作用。植物正是从土壤取得氮——蛋白质成分中的一个元素，而蛋白质又是活有机体的原生质的极其重要的成分。叶绿素——参加光合作用过程的色素——也含有氮，而光合作用能保证叶片所吸收的二氧化碳形成有机物质。土壤是植物的生长和正常生命活动所必须的其它许多元素的源泉。其中首先值得提出的是磷，它能形成各种各样的化合物——磷脂、糖类磷酸酯(фосфорный эфир углевода)和磷酸核苷(фосфорные нуклеопротеиды)，目前被认为在生长过程中以及在有机体遗传性的传递中起重大作用的复杂的蛋白质。

蛋白质中所含的硫也是由植物从土壤中得来的。硫和磷的化合物都参加呼吸作用。

氮、磷、硫都是非金属。植物从土壤中吸收到的是氧化了的磷和硫——磷酸和硫酸的阴离子。氮可能以氧化物的形式——硝酸的阴离子 NO_3^- ，也可能以还原的形式——阳离子 NH_4^+ 进入植物。

除了非金属以外，植物还从土壤中得到金属——钾、钠、钙、镁、铁、铜等。它们的作用是不同的。一些形成有机金属化合物，例如镁是叶绿素的组成成分，铜和铁是呼吸酶的成分；另一些——钾、钠、钙——仍以离子形式存在，它们被细胞的原生质结合起来，并调节原生质的胶体-化学性质。

还可继续列出植物从土壤中所吸收的元素的名称。我们还未

提到硅、錳、硼、鋅、鈦、鋰、鉬、鉛、鎳、鈷等元素，它們的意义各有不同，而且決不是取决于它們在植物活質中的分量。實質上說來，它們之中某些元素的作用至今還完全不清楚，雖然它們的必要性已經被證明了。屬於這一類的首先是所謂微量元素，它們在植物中的數量是微不足道的——只不過占植物鮮重十萬分之几甚至萬萬分之几（Максимов, 1948）。

植物用根從土壤中吸收物質，個別植物種的根深入到土壤中的深度很大，而且往往占有很大的面積。在伸入土層的全部根體中，執行吸收機能的只有那些纖細而未木栓化的幼嫩根端，就重量而言，它們是為數很少的。

根的吸收帶位於分生組織部分的附近。對吸收機制的研究表明：在這一過程的第一階段是離子吸附在細胞表面。然後，原生質的成分把離子結合起來。從外部環境中吸收來的離子逐漸從細胞中解吸出來而進入根的導管，同時向上輸送到地上器官。

離子的吸收取決於根所處環境的反應。酸性加強有利於吸收陰離子，相反，反應趨向於鹼性則可促進陽離子的吸收過程。然而，應該指出，土壤反應的生理作用並不是限於氫離子濃度對物質吸收過程的影響。

植物的根能使從土壤中吸收來的礦質營養元素集中起來，土壤中這些元素的含量往往比植物中的低幾十倍。因此，吸收過程是相反於濃度梯度而進行的。這一過程要求消耗能量，後者由呼吸作用來保證。

總之，物質的吸收是一個主動的過程，而且，應該特別着重指出，它相對地不依賴於水的進入（Сабинин, 1940）。

物質吸收的速度在植物生活的不同階段不一樣。正如栽培植物的實驗所表明的那樣，最大吸收速度是出現在植物體增長最快的時期。在一昼夜的期間內，吸收速度可以有很大的變化，顯然，這與有機體生命活動的節律有關。

下面介紹一些研究方法，可以最一般地說，按照作為各種方法的基礎的基本原則，至少可以把所有各種研究土壤營養的方法分

为若干基本类别。

根据植物成分的分析可以解决植物从土壤中吸收了多少和吸收了哪些物质的问题。目前已有许多完善的分析氮、磷、硫、钾等元素的化合物的方法。不过，这些原则相当简单的方法不能回答哪些元素是有机体在它的不同生活时期进行正常活动所必需的这个问题。有时，个别元素的大量积累甚至对有机体有害，例如氯就是这样，在盐渍化条件下植物中含氯过多就会起抑制作用。

如果从植物的培养基中排除某种元素，就可以确定该元素是否必要。这一原则也正是数十年来在生理学和农业化学中所利用的“营养法”的基础。该法的创始人是克诺普和萨克斯，他们曾用人工配制的营养混合液培养植物。克诺普所建议的营养混合液至今还是应用最广的混合液之一 (Максимов, 1948; Walter, 1950)。

利用营养溶液来培育植物给根的吸收活动的研究开辟了新的前景，根据植物所处培养基的分析来判断物质吸收情况已成了可能——培养基中各个元素浓度在一定时间内的变化可以作为吸收作用的指标。这一办法比植物本身化学成分分析要来得优越，因为它可以计算较短时间内吸收情况，至于分析溶液中各种元素的含量在技术上比分析植物体简单，那就更不用说了。

由于可以用这种或那种方法标记由外面培养基进入到植物体中的物质，并进一步根据所作的标记来计算它们，而不必进行化学分析，这样使得研究者的任务更为简化。这一原则就是在生物学研究中广泛采用，并获得《示踪原子法》名称的这个方法的基础。

地植物学研究中的植物土壤营养研究具有一定的特点。对地植物学家来说，解决下列问题可能有重大意义。

1. 矿质营养元素的吸收和积聚的活动性的比较以及它们在同一群落内和适应于不同生境的不同群落(群丛)中的各个植物种的器官中的分布。

2. 不同外界因素，例如土壤的 pH、土壤溶液中盐类的浓度、土壤温度等对根系吸收活动的影响。这在北方和高山区，特别是在

上部高山植被带,有特別重要的意义,因为那里的植物在积极生长期还可能处于土壤的冻结层中。

3. 春季不同植物种根的积极吸收活动的开始日期 和 秋季它的終止日期的确定, 因为这些日期說明植物由积极生命活动向休眠状态过渡的特征。

4. 生长期內活动性的变化。

这一切問題的解决要求采用不同的方法。例如上述第一个問題可以借助于对植物材料进行直接的化学分析解决。也可以采用示踪原子法。如果由于某种原因而不能利用这种高度完善的方法,那么,最方便的方法是根据根周围培养基中物质浓度的变化来研究吸收过程。在这种情况下,只得把植物或个别的根置于人工的营养混合液中。

对地植物学家來說,研究植物土壤营养的主要困难是要求在自然条件下进行研究。这一条件限制了采用生理学家和农业化学家老早就应用的那些研究得很好,并且經過检验的方法,例如营养法的可能性。例如在野外条件下,只有当象土壤 pH 和 土壤溶液浓度对植物的影响这类問題得到解决时,才能成功地采用这种方法。

上面很简单的叙述已可表明:在远离有条件进行化学和其它分析的实验室的路綫考察中是不能进行土壤营养研究的。这样的研究要求有装备較为完善的定位站。因此,正是土壤营养是在沒有受过人类干扰的自然界进行工作的研究者所不易达到的領域,这并不是偶然的。

指出了上述的情况之后,再来較詳細地分析一下各个研究方法。

植物材料的分析

这里,我們不准备詳細討論測定各种矿质营养元素的大量方法的原則和細节。我們只簡要地談談它們。因为在广泛流行的許

多生物化学和农业化学的指南中可以找到关于它们的描述。

很完善的固定植物材料的方法可以使植物材料的化学成分长期保持而无重大的变化。这就保证了在离采集样品地很远的地方进行分析的可能性。因此，在利用最简单的固定方法的情况下，可以在距离实验室很远，在野外环境中进行研究用的材料的采集。

稍为谈一谈标本的采集。首先应该注意的是，材料应该从尽可能大量的植株上采集。否则，分析的结果可能或多或少地具有偶然性质。为了有可能深信所获得的数字，标本的采集不能少于两个重复。材料的采集永远应在一昼夜的同一时间进行。这一要求是基于：各种物质的含量在一昼夜内不是固定不变的。例如：在光合作用过程中，植物叶内就有碳水化合物的积聚和流出。这引起叶片重量的显著变化，因而也引起包括矿质营养元素化合物在内的所有非碳水化合物性的化学成分的分量的变化。这些变化带消极性质。然而，由于矿质营养元素化合物本身一昼夜内在植物体中的转运，也可能产生这样的变化。这类的变化也可能很大。例如，叶片内氮的含量在一昼夜内几乎可以改变到合干重的1%，但它在植物体中的最大含量通常不超过5%。因此，采集材料如不考虑到植物新陈代谢的昼夜动态可能是完全不合适的，因为这样的材料不能进行比较。

材料采集后，应立即清洗以除去灰尘，然后用滤纸或纱布在表面吸干。在材料固定以前，还在野外时就最好用技术天秤称重，这样，如果在进行干燥时没有损失的话，就提供在以后测定植物含水量的可能性。这使我们不但可以用干重，而且可以用鲜重来计算分析结果。鲜重可以说明被分析物质在植物生活组织中的浓度，因此是很有意义的。

称重之后，就可进行固定工作，为了防止因酶的作用而造成的化学成分的变化，这是必须的。在野外条件下，最容易做到的是用柯赫(Kox)仪器中的蒸气进行固定。如果没有这种仪器时，可以利用容积为5—6公升的普通锅。锅内放入水，并放置一个不高的具有网子的三角架，材料疏松地放入小瓷盘或纱布袋中，在极端不

便的情况下就简单地放在紙上。然后把它們放到鍋內的网上煮沸15—20分钟。應該注意使鍋蓋上因水汽凝結而形成的水珠不致掉到放有材料的瓷盤中去。为此，可在材料上面蓋上一张蜡紙。

固定之后，必須把材料风干。如果是在烘箱內烘干，箱內溫度应不超过40—45°C。

至少，可以在空气中、帳篷中、在帆布遮棚下或任何通风良好的屋子里进行风干工作，同时，使材料处于疏松状态。张在小木条架上的紗布网对风干工作非常方便。

风干了的材料可以长期保存，也可运到实验室去。

分析氮、硫、磷、鉀等元素的含量是相当費力的，要求研究者具备高度的技能。測氮必須用硫酸将材料进行所謂湿烧。燃烧时，所有氮都变为銨氮，后者在蒸餾之后根据滴定硫酸来测定（图1）。燃烧一般要繼續好几个小时。

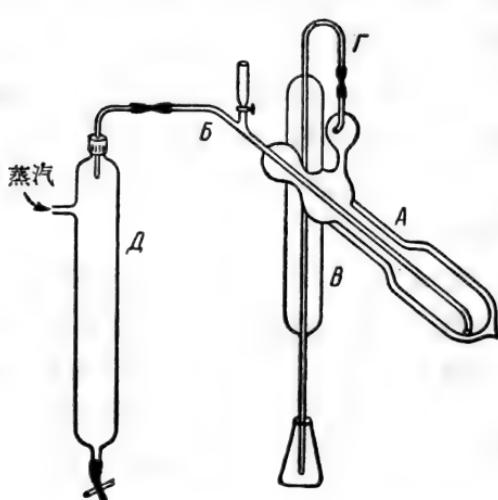


图 1 氮素微量測定仪器的一般形式（根据 Белозерский и Проскуряков, 1951）

А——加速液体增溫的基本双壁器；Б——供注入試驗溶液和碱之用的漏斗管；В——冷藏器；Г——轉接器；Д——在銨蒸餾之后供液体自动反流的盛器

測磷也要求用硫酸和硝酸混合液进行湿烧或进行干灰化。測硫和卤素也要采用干灰化。A. H. 别洛泽尔斯基和 H. И. 普罗斯庫里亞科夫 (Белозерский и Проскуряков, 1951) 描述了測氮、磷、硫、卤素、銅和鐵的各种方法；A. B. 彼捷爾布爾格斯基 (Петербургский, 1952) 介绍了測鈣、镁、鉀、磷和氮的方法。

如果研究者对各种矿质营养元素含量的严格定量分析不感兴

趣和可以滿足于近似的鑑定的話，那么，可以建議采用供測定栽培植物需肥量的較簡單的野外方法，这主要是根据植物汁液的分析（Магницкий, 1954）。它們不要求复杂的設備，化学素养不高的研究者也可以利用。根据比色反映和浊度反映評定各种元素的含量。在这种情况下，在从植物的这些或那些部分榨出的液滴中加入相应的試剂之后，将所出現的顏色与标准溶液或色斑的級度相比較。分析結果用1公斤植物汁液中元素的数量或約定的单位——級度来表示。

借助于滴液法可以測鉀、鎂、氯 以及氮和磷化合物的个别形式。氮以氧化形式——硝酸盐測出¹⁾。所有其它有机和无机化合物仍然不能計算。

根据下列事實估計植物的氮素保証。已經确定，在根吸收帶已經进入細胞內的个别离子，例如 NO_3^- ，能够发生变化。氮还原为 NH_4^+ 。因此通常，只是在植物有足够氮的保証的情况下，在植物地上器官中才能积聚大量的硝酸盐。

有些植物仅仅是分布在土壤中有硝酸盐积累的地方。大家知道，例如，莧属(*Amaranthus*)常常在垃圾堆附近出現，因为那里由于各种有机残余物的分解而在土壤中积聚了大量的硝酸盐。在东帕米尔，*Zygophyllum* 的一些种 (*Z. Rosovii* 以及特別是 *Z. obliquum*) 常常迁居到旧的猎人临时宿站地方，因为那里也有大量硝酸盐的积聚。这些植物各种器官的組織甚至它們的花都富含硝酸盐。隆德戈尔德曾經編制了一个所謂喜氮植物名录(Люндегорд, 1937)。而且，个别植物种甚至在土壤中硝酸盐含量不高的情况下也有积聚硝酸盐的能力。根据我們在土庫曼所进行的測定，*Halocnemum strobilaceum* 属于这样的植物。因此，植物体中硝酸盐氮的含量的測定不仅对鑑定各个生境，而且对鑑定不同的植物种都有很大的意义，特別是如果植物材料的分析能够与土壤分析

1) 借助于不同的方法，其中包括分析土壤时也利用的比色法在內，可以对硝酸盐进行精确的定量測定(Гедройц, 1929)。在溶液蒸發时加入几滴过氧化氢使植物材料提取液預先脱色。

配合起來的話。

在測定磷的滴液法中也只能計算磷的無機化合物。從土壤中吸收的磷酸鹽形式的磷在植物體中形成各種有機化合物——磷脂、糖酯、核朊。這些化合物分解時，又可重新得到磷酸。只有在植物有充分的磷保證時，才有可能發生磷的大量積聚。

營養法

上面已經指出，對地植物學家來說，營養法基本上只具有輔助的意義。因此，我們將只簡略地談談它。如有必要，可以從其它指南（Соколов, Ахромейко 和 Панфилов, 1933; Сказкин, Ловчина-новская, Красносельская и 等., 1953; Соколов, 1954）中得到較詳細的報導。

把植物栽培在專門器皿中的人工營養混合液中。培養器的大小和形狀可能各色各樣。在培養器中裝着溶液（水液培養，圖2），砂子（砂土栽培）或土壤（圖3）。已經制訂了各種營養混合液的配



圖 2 水液培養器(A)和它的蓋子(B)
(根據 Сказкин 等, 1953)

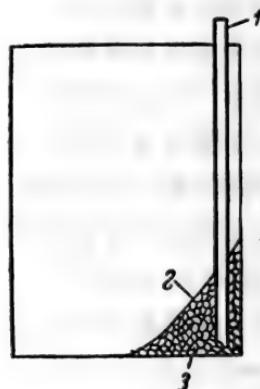


圖 3 用作營養試驗的培養器（土壤栽培和砂土栽培）的斷面圖
(根據 Сказкин 等, 1953)
1——直徑為 1.5—2 厘米的玻璃管，
通過它對植物進行灌水； 2——紗布或結實的包裝紙； 3——培養器的排水系統（砾石或碎玻璃）

方,在这些配方中不但各个元素的剂量不同,而且化合物的形式也不同。最常用的混合液之中可以提出的是克諾普混合液 (смесь Кнопа), 格尔里格里混合液 (смесь Гельригеля) 和普里亚尼什尼科夫混合液 (смесь Прянишникова)。最后一种混合液的突出特点是: 它不是用硝酸钙 (生理碱性盐类, 其中的阴离子比阳离子吸收得快, 这对植物是不利的) 作氮源、而是用生理上中性的硝酸铵作氮源。加入到普里亚尼什尼科夫混合液中的钙是磷酸钙和石膏。

下面列举上述各混合液的成分 (以 1 公升溶液或 1 公斤沙子計)。

克諾普混合液	格尔里格里混合液	普里亚尼什尼科夫混合液
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ —1 克	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ —0.492 克	NH_4NO_3 —0.24 克
KH_2PO_4 —0.25 克	KH_2PO_4 —0.136 克	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ —0.172 克
$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ —0.25 克	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ —0.075 克	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ —0.06 克
KCl —0.125 克	KCl —0.060 克	KCl —0.15 克
Fe_2Cl_6 —微量	Fe_2Cl_6 —微量	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ —0.334 克
		Fe_2Cl_6 —0.025 克

在那种情况下, 当有必要使植物栽培在缺乏这种或那种元素的条件下时, 应该进行计算, 以便使得在第二个组分中补充曾经从混合液成分中取消了的那个盐类。例如, 如果从格尔里格里混合液中取消钙时, 就应该用硝酸钾来作为氮源。而且要计算, 为了保证植物有按格尔里格里混合液定额中那么多的氮, 应该用多少数量的 KNO_3 。

在格尔里格里混合液中含有 0.492 克的 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 。它的分子量等于 164 克。一个克分子 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 中的氮是 28 克, 在 0.492 克 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 中的氮应为 x 克。作出比例式, 求得 x 。

$$\frac{x}{28} = \frac{0.492}{164},$$

由此

$$x = \frac{28 \times 0.492}{164} = 0.084 \text{ 克}.$$

KNO_3 的分子量等于 ~ 101 克。在 101 克的 KNO_3 中含氮 14 克, 而在 x 克 KNO_3 中含氮 0.084 克。列出第二个比例式, 得

$$x = \frac{101 \times 0.084}{14} = 0.606 \text{ 克}$$

在这种情况下, 要使鉀的数量相等是不可能的, 因为要这样就不能不减少磷的剂量, 甚至还要完全取消氯化鉀。

为了解决一系列的問題, 例如象查明土壤溫度在根系活动中作用, 确定还可以进行吸收活动的极限点以及某些其它任务, 可以利用我們在研究帕米尔野生植物的营养物质吸收过程时所制定的方法。作为这个方法的基础的总的原則是根据母液的浓度和植物根所在的溶液浓度的差別計算吸收作用。

根据营养溶液浓度的改变計算物质的吸收情况

根据营养溶液浓度的改变計算物质的吸收情况十分簡單, 沒有得到专门訓練的研究者也可以进行。試驗时利用根, 根上的土要小心地用水冲去。最方便的是用下述办法摘取根的吸收尖端。在选定作試驗用的植物近旁挖一条壕沟, 从壕壁上找出大主根的伸展方向。然后在分歧为細根的那些地方, 用一小股水冲洗壕壁。壕深以根的埋藏深度为轉移。冲洗根的过程是比較困难的。因此我們提出几点建議以減輕这一手續。洗根最好用接有眼孔很小的噴咀的橡皮管。皮管的一端可放到河里或任何水体中, 只要有可能从比試驗地較高的地段得到水就行。橡皮管的直径不能超过 1.5—2 厘米。当利用带有长管咀 (如吸移管那样) 的玻璃管作为噴咀时, 可以得到足够有力以使根从土壤分出来的水流。

当摘取了根上細小的吸收尖端之后, 应小心地用經常保持湿润的一层棉花把洗过的根的上部盖起来, 而在棉花上面則应覆盖结实的紙或金属薄片以防根部干燥和給太阳晒热。根下部的吸收部分放置于专门的小瓶中, 后者在試驗时盛营养混合液, 在試驗前则盛水。

用禾本科植物、某些半小灌木或其它植物作試驗時，我們是用容积 10 毫升的普通离心試管作小瓶，上面有一个具三个小孔的軟木塞。两个孔插玻璃管，而第三个孔(纵切的)放洗过的一束根。在一个玻璃管的下端接一橡皮管通到試管底部。这个管子的上面接上第二个橡皮管，其直径 5—7 毫米长 7—10 厘米(图 4)。通过这两个管子可把营养溶液灌入瓶內，試驗結束后又可把溶液吸出来。第二个玻璃管的上端盖以棉花塞或金属薄片制成的小罩。

用下列办法把溶液注入小瓶。

放試驗溶液的吸移管的管咀从上面插入橡皮管(图 4, 1)，溶液即沿着管子流入小瓶中。混合液注入后，再經同一管子注入一定量的水，以清除管中残存的溶液。試驗結束后，溶液通过同一途径流出来。为此，借助于用以吸取溶液的特殊的装置使管子与量瓶連接起来(图 4, 3)。溶液流出后，要用水冲洗小瓶 5—6 次，这水也吸到同一个量瓶中。在这种情况下要清除掉营养溶液的痕迹。這項手續結束后，把量瓶中的溶液标上記号开始进行分析。根据母液浓度和該溶液在試驗之后的浓度之差計算物质的吸收情况。

在工作中采用普通的水液培养营养混合液，这种混合液是在設置营养試驗时使用的。但是，應該考慮到，在試驗中需要测定其吸收情况的那种元素的盐不应在营养混合液中留下不溶解的沉淀物。否则，如果在根的表面生成不溶解的沉淀物，那么，去除这部分化合物就可能被认为是吸收掉了。对于鈣和磷这类的元素应特別警惕这一点。如果在工作中想要計算它們之中一个元素的吸

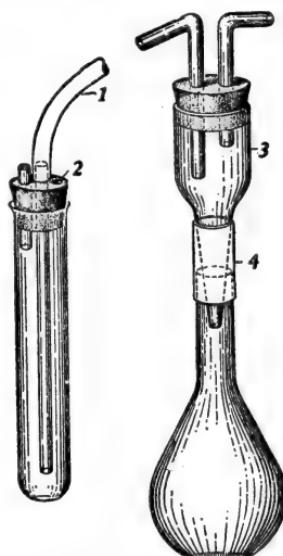


图 4 測植物根的吸收作用的小瓶和倒溶液用的装置(原图)

1——注入和吸出溶液的管子；2——放根的小孔；3——用橡皮管(4)与量瓶联接起来的吸溶液用的装置

收,那么另一个元素就应从营养混合液中除去。因为这个原故,我們有时不用一般常用的营养溶液,而用泽連先(Зеренсен)的带中性反应($\text{pH} \sim 7$)的磷酸盐緩冲混合液,必要时还按格尔里格里混合液的标准加入硝酸鉀或硝酸銨。下表列举了泽連先緩冲混合液在組成盐类的不同比例关系情况下的 pH 值。

注入試驗培养器的永远是 2 毫升的营养混合液和 5 毫升的水。因而,溶液的总体积是 7 毫升。溶液中磷的浓度應該与格尔里格里混合液中磷的浓度相等,即 31 毫克 P/1 毫升溶液。母混合液的浓度應該是多少呢?显然,多 $\frac{7}{2}$ 倍,即: $\frac{31 \times 7}{2}$ 毫克 P/1 升。这样数量的磷應該是从 KH_2PO_4 和 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 中得到。为了得到 $\text{pH} \sim 7$ 的混合液,盐的分子比例应为 4:6(見表)。

pH	每 100 毫升混合液中的溶液量(毫升)	
	$\text{KH}_2\text{PO}_4 \left(\frac{1}{15} M \right)$	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \left(\frac{1}{15} M \right)$
9.18	0.00	10.00
8.68	0.10	9.90
8.34	0.25	9.75
8.04	0.50	9.50
7.73	1.00	9.00
7.38	2.00	8.00
7.17	3.00	7.00
6.98	4.00	6.00
6.81	5.00	5.00
6.64	6.00	4.00
6.47	7.00	3.00
6.24	8.00	2.00
5.91	9.00	1.00
5.59	9.50	0.50
5.29	9.75	0.25
4.94	9.90	0.10
4.49	10.00	0.00

現在來計算,制 1 升的混合液需要多少盐类。

4 分子 KH_2PO_4 的份重是 544, 6 分子 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的份重——1068。这样的混合液中将含 10 个磷原子, 即 310 个份重。我們所需的溶液的浓度是 $\frac{31 \times 7}{2}$ 毫克 P/升。

應該使含 544 毫克 KH_2PO_4 和 1068 毫克 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的緩冲混合液稀释多少倍呢? 显然, 稀释到 $\frac{310 \times 2}{31 \times 7}$, 即到 $\frac{20}{7}$ 倍。

因此, 一升溶液中 KH_2PO_4 的含量将等于 $\frac{544 \times 7}{20} = 190.4$ 毫克, 而 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \frac{1068 \times 7}{20} = 373.8$ 毫克。

选择浓度的問題是值得特別注意的。在进行試驗时應該注意說明吸收現象特征的数字的准确性。上面已經提到, 吸收作用是根据母液的浓度和試驗溶液的浓度之差来計算的。不言而喻, 上述的差額愈大, 即吸收作用的数值愈大, 計算的相对誤差就愈小。吸收值本身取决于吸收的强度或速度和試驗的持續時間。因此, 必須用这么多体积的溶液, 使得在試驗期間大量的盐能被吸收。但是, 不容許溶液的浓度在試驗期間过多地下降, 否則, 吸收将局限于溶液中所留存的盐类。

此外, 庇該考慮分析方法和借以进行测定的仪器的灵敏度。例如, 利用比色法时就得注意, 用普通的裘鮑斯克比色計 (Колориметр Дюбоска) 是不能測强烈稀释的溶液的, 因为在溶液顏色很淡的情况下, 在小柱搖动时肉眼不能分辨比色計各区照度的差异。这样可能增加讀数的誤差, 从而降低测定的精度。根据裘鮑斯克比色計設計改装的浓度比色計 КОЛ=1M 由于应用固定的光源和滤光器而具有較大的精度(图 5)。最完善的仪器——装备有光电管的光电比色計是比肉眼較为灵敏而客觀的测定工具。这种仪器保証利用强烈稀释溶液的可能。

由上述可見, 不进行預先的試驗, 是不可能选定浓度的。选择适当的数值应考虑到吸收的强度、植物根保持在溶液中的時間以及分析方法的灵敏度。

在我們的試驗中, 3—4 小时之后就可看到大量的吸收过程,

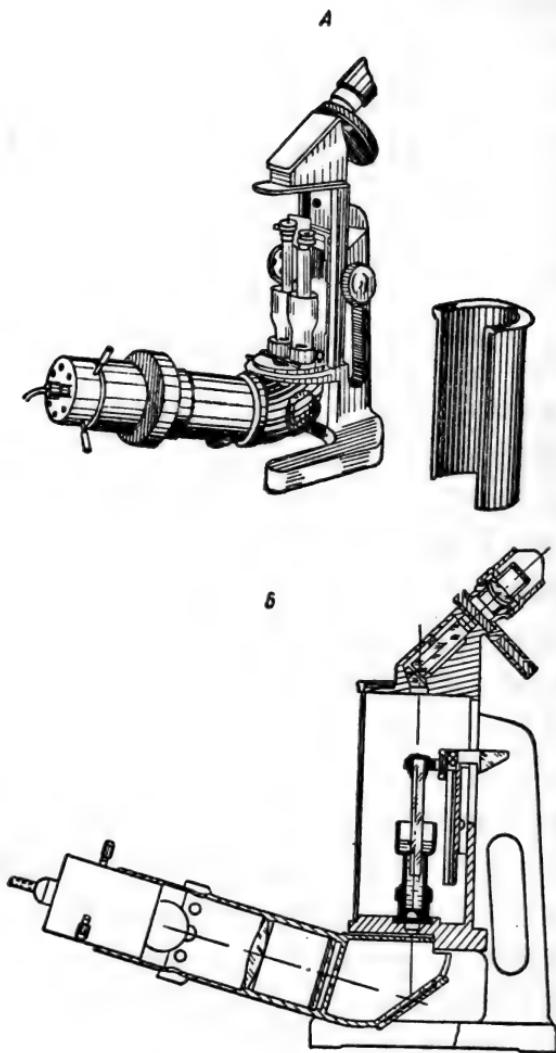


图 5 比色計
A——全图, B——剖面概图

度, X ——試驗溶液的浓度, H ——标准溶液的高度, H_x ——試驗溶液的高度, 則:

$$\frac{C}{X} = \frac{H_x}{H}, \text{ 而 } X = \frac{C \times H}{H_x}.$$

因此, 試驗的持續時間通常不超过 5 小时。如果进行短時間的試驗, 总的持續期只有几个小时的話, 那么應該注意, 吸收强度在一昼夜期間是有改变的, 甚至同一个种的植物的最大吸收速度也不是同时出現。因此, 最好是在一昼夜內进行几次測定。

在結束比色法的介紹時, 举例說明一下吸收的計算。

假定, 在試驗中研究了磷和硝酸盐氮或铵态氮的吸收。

今以 C 代表标准溶液的浓

如 V ——被分析溶液的体积,那么:

$$\frac{C \times H}{H_s} \times V = \text{被分析物质的数量。}$$

在对用作試驗的母液进行比色測定时,假定在同一标准情况下該溶液高度等于 H_y 。則在同样体积的溶液中,被分析物质的数量将等于:

$$\frac{C \times H}{H_y} \times V。$$

求出第二个值与第一个值之差

$$\begin{aligned} \frac{C \times H \times V}{H_y} - \frac{C \times H \times V}{H_s} &= C \times H \times V \left(\frac{1}{H_y} - \frac{1}{H_s} \right) \\ &= \frac{C \times H \times V (H_s - H_y)}{H_y \times H_s} = \text{試驗时被吸收的物质的数量。} \end{aligned}$$

在研究溫度或其它影响根系活动的外界因素的作用(在恒溫条件下)时,也可采用上述計算吸收作用的方法。这时,放根的小瓶应置于盛水(如研究低溫的作用,則盛带冰的冰盐混合物)的杜瓦(真空)瓶內。

容积在 10 毫升以下的离心試管和工作起来很方便的小杜瓦瓶(容积不超过 100—200 毫升)可用作計算吸收作用的小瓶。

这个方法有許多缺点。首先,即使最小心地使植物的根与土壤分开,植物根无疑也会要受到伤害。此外,在計算吸收作用时,植物根是处于对它們來說不平常的水培养基中,而不是在土壤中。其次,利用这个方法不能估算整株植物所吸收的物质。在工作中能够获得的只是代表大小大致相同的个别根的吸收强度的数值。然而,这样的根就吸收能力而言,彼此的差別是很大的。因此,为了得到可靠的資料,必須使各个試驗变种有大量的重复,而不是三四次的重复。

示踪原子法的应用

在現代的生理学和农业化学中，同位素法得到了愈来愈多的应用。用这种方法使我們有可能計算从外面进入植物的微量物质。除了高的灵敏度以外，这个方法还有一个很大的优点，就是使研究者可以避免进行繁重而費力的化学分析。

这个方法的实质在于：在供植物吸收的盐中加入一定量的根据某种元素而可以示踪的盐，这种元素在化合物中不是一般最常見的同位素，而是具有特殊原子量的元素。这种同位素既可以是不衰变也不发生輻射的稳定性同位素，也可以是放射性同位素。在应用示踪原子的所有研究中都必需以下列情况为前提：具有不同原子量的同一元素的同位素，不論是稳定性的，或是放射性的，都同样地被有机体所利用。

稳定性同位素和放射性同位素的測定方法是各种各样的。原子量的差异是測定稳定性同位素的基础。根据这种差异，借助于叫做质譜仪的特殊仪器可以把同一元素的各种同位素区别开来并計算它們的数量。为了計算，应把质譜仪中被分析的物质轉变为电离状态。对于镁和硅这一系列元素的化合物來說，这个条件是很难办到的。

測定本身是一件复杂的和細致的工作，要求有专门的訓練。如果还补充一点，測定大多数稳定性同位素要求复杂的貴重的仪器，那么，为什么稳定性同位素至今在生物学研究中还未得到广泛的应用这个問題就很清楚了。然而，在測氮和氧这些不具有便于工作的放射性同位素的元素时，稳定性同位素的应用却是不可替代的。

测量放射性同位素，問題則简单得多，由于这个緣故，这种同位素在生物学研究中比稳定性同位素应用得早。測定放射性同位素的基础是登記在它們衰变时所放出的射綫。大家所知，在这种情况下可以觀察到三种射綫：即所謂 α -射綫(氮核粒子)， β -射綫

(带负电或正电的粒子) 和 γ -射线(比伦琴射线穿透性强的光子)。

放射性同位素的寿命长短不同, 一般以半衰期来代表同位素的寿命。半衰期就是现有同位素数量的一半发生衰变的时间间隔。

所谓放射性自动摄影法是最简单的记录射线的方法。这种方法是基于于放射性物质发射出来的粒子会引起照相乳胶变暗。把含有放射性物质的物体放到照相软片或薄片上, 就可以得到它的印痕。这种方法可发现放射性物质在物体中的精确位置, 并具有很高的灵敏度。然而, 暂时还不能利用它作精确的数量计算(Верховская, 1955a; Комар, 1957)。

放射性是用各种专门的仪器——不同类型的计数器和换算装置——来测定的。在许多专门的指南中可以找到这些仪器的说明(Бочкарев 等; 1953; Верховская, 1956 б; Спицин 等, 1955; Комар, 1957)。这些仪器的结构虽然复杂, 但用起来并不困难。以测定放射性为基础的各种方法的灵敏度很高。实际上, 可以认为, 这种灵敏度比化学分析法的灵敏度要高得多。

在生物学研究中首先被广泛应用的放射性同位素是原子量为32的磷(P^{32}), 获得 P^{32} 的方法很简单。利用任何元素的、稳定性或放射性的同位素在原则上都是可能的, 但到目前为止, 绝大多数的研究是用 P^{32} 完成的。

有大量的工作使用了钾(K^{42})、钙(Ca^{45})、铷(Rb^{86})、锶(Sr^{82})、锌(Zn^{65})、硫(S^{35})、钠(Na^{24})、溴(Br^{82}) (Дин, 1956)。

好些文章都介绍了有生物学意义的同位素 (Камен, 1948; Клечковский, 1955 a; Войт, 1956)。

目前, 已很好地研究出计算植物、植物材料燃烧后获得的灰分、不同器官做成的干粉末以及活植物中的不同放射性同位素的方法。许多专门著作都详细地介绍了这些方法 (Соколов, 1955; Клечковский, 1955a; Заленский 等, 1955)。

应用同位素的技术是野外研究工作中的一个极其重要的关键。看来, 应用放射性磷是最有前途的, 因为它的半衰期不长不

短——14.3 天，保証有可能在 120 天期間进行工作 (Дин, 1956)。在农业化学中，放射性磷被用来研究不同农作物的施肥方法，研究施肥的不同形式和不同份量 (Клечковский, 1955a; Соколов, 1955)。

已經发现，土壤中磷化合物的轉移十分緩慢。如果把磷直接施于根的附近，那么，可以确定，它經過 40 小时就可进入植物体内；如肥料是施在土壤表面，那么至少要經過 11 天才能进入植物体内 (Urich, Jacobson, Overstreet, 1947)。

湿润土壤可加速物质的轉移，然而在地植物学研究中，人工湿润可能是不好的，因为这要使植物的生存条件发生很大的变化。因此，为了保証植物根的吸收尖端和施入土中的物质相接触，必須采取特殊的方法。这不是一項簡單任务，但还是可以提供某些建議。

例如，在目前，磷肥是制成粒状的。在离植株不同的距离，用钻孔器在土壤中钻出不同深度的垂直孔，可以保証磷肥颗粒在十分接近根的吸收尖端的地方比較均匀的分布。用同样的方式，也可以把颗粒盐放在試驗植物附近人工挖掘的壕沟沟壁上的水平孔洞内。

規定放射性物质的用量也是一个重要問題，因为剂量不足，試驗結果的可靠性就不大，但剂量太多，放射性物质的射線又可能有毒害作用。不进行預先的試驗，要計算出工作中最合理的剂量是不可能的。在这种情况下，應該考慮到下列許多一般性問題：1) 原始样本的活动性；2) 依有机体重量为轉移的、同位素的稀釋程度；3) 同位素的吸收程度，也就是可能被植物从土壤中吸收的被研究物质的数量；4) 同位素分布的不均匀性，例如在植物的不同器官 (根、茎、叶) 中；5) 当利用半衰期小的同位素时的時間因素 (Верховская, 1955b)。

應該指出，在利用放射性同位素进行工作时必須保持一定程度的警惕，因为它们的射線对人体是有害的。在开始工作之前，必須了解在应用放射性指示剂时 保 护 安 全 的 技 术 (Зиновьева,

1955)。

放射性同位素不但可以用来計算从土壤中吸收物质的速度，許多作者(例如 Дин, 1956)还利用放射性指示剂来测定植物根系的生长速度和活动性。为此，把放射性物质放在离根不同距离的地方，然后测出植物体内积聚定量放射性物质所必須的时间。这个方法也被用来测定某些草本植物种根系的穿透深度(Бертон等，轉引自 Дин, 1956)，用来确定于土层中的根系分布情况(Hunter 和 Kelley, 1946a, 1946b)，用来研究树木根的連生現象(Кунц等, 1956)以及其他目的。

从上述可知，利用示踪原子所能研究的問題的范围是多么广泛。可以不用怀疑，这个方法目前在地植物学研究中虽然还未被采用，但在不久的将来，一定会得到有成效的应用。

(李 恒譯，陈昌篤校)

参 考 文 献

Белозерский А. Н. и Н. И. Прокуряков. 1951. Практическое руководство по биохимии растений. Изд. «Советская наука», М.

Бочкирев В., И. Кеирим-Маркус, М. Львова, Я. Пруслин. 1953. Изменение активности источников бета- и гамма-излучений. Изд. АН СССР, М.

Верховская И. Н. 1955а. Чувствительность изотопных методов исследования. В сб.: Метод меченых атомов в биологии. Под ред. А. М. Кузина, Изд. Моск. гос. унив., М.

Верховская И. Н. 1955б. Установка типа Б и основные методические указания при работе с ней. В сб.: Метод меченых атомов в биологии. Под ред. А. М. Кузина, Изд. Моск. гос. унив., М.

Верховская И. Н. 1955в. Методические основы применения радиоактивных индикаторов в биологическом эксперименте. В сб.: Метод меченых атомов в биологии. Под ред. А. М. Кузина, Изд. Моск. гос. унив., М.

Войт А. 1956. Радиоактивные изотопы. В сб.: Биофизические методы исследования. Под ред. Ф. Юбера. Изд. ИЛ, М.

Гедройц К. К. 1929. Химический анализ почв. 2-е изд. Сельхозгиз, М.—Л.

Дин Л. А. 1956. Применение радиоактивных изотопов при исследовании почв и удобрений. В сб.: Применение радиоактивных изото-

лов в промышленности, медицине и сельском хозяйстве. Докл. иностр. учен. на Междунар. конфер. по мирн. использ. атомной энергии, Изд. АН СССР, М.

Заленский О. В., О. А. Семихатова, В. Л. Вознесенский. 1955. Методы применения радиоактивного углерода C^{14} для изучения фотосинтеза. Изд. АН СССР, М.—Л.

Зиновьева Е. Г. 1955. Особенности лабораторной работы с радиоактивными веществами. Сб.: Метод меченых атомов в биологии. Под ред. А. М. Кузина, Изд. Моск. гос. унив., М.

Камен М. 1948. Радиоактивные индикаторы в биологии. Изд. иностр. лит., М.

Клечковский В. М. 1955а. Применение метода меченых атомов в агрохимии. Сб.: Метод меченых атомов в агрохимии. Под ред. А. М. Кузина, Изд. Моск. гос. унив., М.

Клечковский В. М. 1955б. Меченные атомы в изучении способов внесения удобрений. Докл. сов. делег. на Междунар. конфер. по мирн. использ. атомной энергии, Изд. АН СССР, М.

Комар С. 1957. Радиоактивные изотопы в биологии и сельском хозяйстве. Изд. иностр. лит., М.

Кунтц Дж. и др. 1956. Применение радиоактивных изотопов для изучения роли срастания корней лесных деревьев, в передвижении воды и питательных веществ и болезнетворных организмов. Сб.: Применение радиоактивных изотопов в промышленности, медицине и сельском хозяйстве. Докл. иностр. учен. на Междунар. конфер. по мирн. использ. атомной энергии, Изд. АН СССР, М.

Люндегорд Г. 1937. Влияние климата и почвы на жизнь растений. Сельхозгиз, М.

Магницкий К. Н. 1954. Упрощенные полевые методы определения потребности растений в удобрениях по химическому анализу их сока. Сб: Агрохимические методы исследования почв. Под ред. А. В. Соколова, Д. Л. Аскинази и И. П. Сердобольского. Изд. 2-е. Изд. АН СССР, М.

Максимов Н. А. 1948. Краткий курс физиологии растений. Сельхозгиз, М.

Петербургский А. В. 1952. Практикум по агрохимии. Сельхозгиз, М.

Сабинин Д. А. 1940. Минеральное питание растений. Изд. АН СССР, М.

Сказкин Ф. Д., Е. И. Ловчновская, Т. А. Красносельская, М. С. Миллер, В. В. Аникеев. 1953. Практикум по физиологии растений. Изд. «Советская наука», М.

Соколов А. В. 1954. Вегетационный метод. В сб.: Агрохимические методы исследования почв. Под. ред. А. В. Соколова, Д. Л. Аскинази и И. П. Сердобольского. Изд. 2-е. Изд. АН СССР, М.

Соколов А. В. 1955. Определение усвоемости фосфатов почвы и удобрений при помощи радиоактивного изотопа фосфора. Докл. сов. делег. на Междунар. конфер. по мирн. использ. атомной энергии, Изд. АН СССР, М.

Соколов А. В., А. И. Ахромейко и В. Н. Панфилов. 1933. Вегетационный метод. Сельхозгиз, М.

Соколов А. В. и И. П. Сердобольский. 1954. Методика применения «меченых» атомов при агрохимических исследованиях. В сб.: Агрохимические методы исследования почв. Под. ред. А. В. Соколова, Д. Л. Аскинази и И. П. Сердобольского. Изд. 2-е. Изд. АН СССР, М.

Спинкс Дж. В. П. 1955. Использование изотопов для изучения специальных проблем в сельском хозяйстве и лесоводстве. Сб.: Применение радиоактивных изотопов в промышленности, медицине и сельском хозяйстве. Докл. иностр. учен. на Междунар. конфер. по мирн. использ. атомной энергии Изд. АН СССР, М.

Спицин В. И., Б. Н. Кодочигов, М. М. Голутвина, А. Ф. Кузина, З. А. Соколова. 1955. Методы работы с применением радиоактивных индикаторов. Изд. АН СССР, М.

Hunter A. S. and O. Y. Kelley. 1946a. The extension of plant roots into dry soil. *Plant Physiology*, vol. 21, № 4.

Hunter A. S. and O. Y. Kelley. 1946b. A new technique for studying the absorption of moisture and nutrients from soil by plant roots. *Soil Science*, vol. 62, № 6.

Ulrich A., L. Jacobson, R. Overstreet. 1947. Use of radioactive phosphorus in a study of the availability of phosphorus to grape vines under field conditions. *Soil Science*, vol. 64, № 17.

Walter H. 1950. Die Grundlagen des Pflanzenlebens und ihre Bedeutung für den Menschen. Einführung in die allgemeine Botanik für Studierenden der Hochschulen, Bd. 1. 3. Aufl. Stuttgart.

在研究植被时的植物区系研究

地植物学研究时的植物区系研究

А. И. 托尔馬却夫 (Толмачев)

(苏联科学院植物研究所地植物学組)

植被是由属于不同种的植物組成的。一定区域(地区、区)所固有的各个种的总体就是該区域的植物区系¹⁾。区系的种类組成虽然与生态条件有一定的依賴性，生态条件的影响直接表現在植被的外貌和植物群落的結構上，但同时它却是在长时间內逐漸发展起来的历史形成物。区系組成的历史制約性，即区系組成对一定植物类群和具体种的地理发生和年龄、对它們在过去时代經常在与现代很不相同的条件影响下的迁移过程的依存性，具有头等重要的意义。一个区域的区系組成并不是现代条件影响的直接反映，而且在一定程度上是与这些影响无关的。由于这个原因，就反映这些条件而言，植被的許多可动特点——植物群落的結構、它們的动态等等——都不能看作是生存条件的简单函数；除生存条件外，它們还取决于历史上形成的区系組成。

比喻地說，现代植被是通过各該环境中历史上形成的区系的植物界现代生存条件的反映。由于这个原因，有时甚至植物群落²⁾性质中的重大差异可能不是同样地既是不同地域的区系特点的反映，又是植被发育条件的差异上。例如，把薩哈林島(庫頁島)的植被与北海道島的植被相比較，就可以深信，在薩哈林島的中度沼泽化低地的条件中，广泛分布的是具有喇叭茶(*Ledum macro-*

1) 以下简称区系。——譯者注

2) 在本文中“Растительная группировка”应譯作“群落”而不应譯作“群聚”。

——校者注

phyllum)、紫萁(*Osmunda cinnamomea*)、苔草(*Carex Middendorffii*) 以及許多其它植物的植丛的由兴安落叶松所組成的疏林。在北海道，相应的植物則与云杉 (*Picea Glehnii*) 相結合，后者在薩哈林島的沼泽化喇叭茶落叶松林所适应的类似生境中則形成稀疏立木。

在上述情况下，显然，*Picea Glehnii* 的分布北界取决于现代的气候条件。但是，在北海道和薩哈林島最南部沒有落叶松可能是由于它迁居得比較晚，也就是說，是取决于历史原因，而不是取决于现在的自然地理条件。

在外叶尼塞森林冻原(Зеанисейская лесотундра)，森林的极地界綫“跳跃式”地(約跳緯度 1°) 向北推移并不是自然环境的显著变化所引起的，而是因为在叶尼塞地区生长的西伯利亚落叶松 (*Larix sibirica*) 被另一种落叶松——对森林冻原的严寒气候条件有較大抵抗力的兴安落叶松(*L. dahurica*)所代替。

当研究生草丛苔草丛生的沼泽化草甸和牧場时，地植物学家常常发现苔草有显然不同的經濟价值：有时牲口或多或少比較喜欢吃苔草，但有时却毫不过問地繞过去了，各个地段的自然条件性质不能解释这种現象。对苔草进行仔細的研究就可揭示：这里有不同的，虽然在形态和生态上相近的，但在飼料方面价值不相等的种。了解这些种是对飼料用地进行正确品质鑑定的必要前提。在研究以拂子茅、剪股穎以及其它禾草占优势的草甸时也有这样的情况。

所有类似的事實說明了一个总的原理：地植物学家只有很清楚地了解在自己工作过程中所遇到的植物种，即了解研究地区或区域的区系的系統組成，才有可能正确地理解任何地区或区域的植被特性、植物群落与它們的发育条件之間的相互关系、具体植物群落的生产价值。不言而喻，这对于树木区系、对于有花草本植物、对于蕨类植物、对于植物界的其它代表、特别是对于在苏联植被的組成中起重大作用的苔蘚和地衣，都是同样的。

在一定的情况下，进行地植物学研究的地方的地方区系如果

研究得比較好，將使工作容易進行¹⁾。有关于当地区系的汇編（所謂“植物志”）、植物检索表，在最低限度的情况下，即使是一定地方的植物种名录，都能大大地減輕地植物学家的劳动。但是，必須記住，應該把这些文献的存在看作只是有利于认识在地植物方面进行研究的那个地方的区系的一个条件，絕對不是削弱亲自掌握有关区系組成的知識的必要性。

同时，如果认为：苏联領土随便多大的部分（包括列宁格勒州和莫斯科州这样的地方在内！）的植物区系已經得到了彻底全面的研究，从而补充区系組成的資料、特別是关于植物种分布詳情的資料已成了多余，那么便大錯而特錯了。至于苏联的大部分領土，其区系的研究程度不够則是明显的事實。因此，在絕大多数的情况下，对野外地植物学家來說，区系的研究不仅是保証他正确理解所研究的植被的手段，并且（虽然是順帶完成的）一般的說，作为提高我們对我国区系知識水平的手段，也具有一定自給自足的意义。

目前，地植物学工作是苏联各个研究得很少的地区的植物学研究的一种最常用方式，而專門的区系野外調查在有限的范围内进行，并且远不是到处都进行。而且，毫无疑义，这并不是很快就会过去的情况，因为苏联熟练的分类-区系学家干部不多（特別是与辽闊的研究得很少的地区相比較时），而实践的要求証明优先发展野外地植物学工作是正确的。

因此，地植物学家在許多情况下不能不同时担任他所研究的地域的第一个区系研究者的角色。一方面，作为他的主要工作（地植物学工作）的支援这是必要的；另一方面，他在这方面（区系的）的工作也是对苏联植物区系組成清查这一共同事业的供獻，而且可以訂正关于苏联境内植物分布和它們与一定生长条件的联系方面的知識。事实的这一方面是不應該低估的。在这方面，И. М. 克拉舍宁尼科夫（Крашенинников）在前烏拉尔地区和哈薩克斯

1) 这首先是因为：俄罗斯領土的植物学研究在过去主要是以研究区系，也就是查明植被的系統組成的形式进行的。在一定阶段，苏联的区系研究（也和其它国家一样）是远远超过了地植物学的工作，后者仅仅在本世紀才得到比較广泛的发展。

坦以及 Б. Н. 戈罗德科夫(Городков)在极北地区进行的、基本上属于地植物学性质的研究工作值得一提，他們的工作对于了解苏联研究得很少的、特别是难以到达的地区的区系也提供了非常有价值的資料。

在編写植物群落的記載的过程中登記植物种是研究区系种类組成的方式之一。当然，只有真正全面地登記了生长在記載地段的植物种(那怕是发现很少或只有个别个体)的条件下，它才是有效的。然而，在地植物学記載时所登記的植物种的总体，不管記載是多么仔細，实际上有时还不能与整个区系的組成相符合。問題在于，許多种适应于在景观中起着极其次要的作用，并且从地植物学观点看来只有有限意义的生境中。同时，往往正是在这样的“次要”生境(例如倒石堆，未完全生草化的斜坡，石崖和小丘)，种的重複出現度远不是完备的，而在这些地段所作的記載的数目由于可以理解的原因也是不大。显然，在野外条件下准确地辨认那些往往不大注目而可能偶然放过的植物的困难性也起着一定的作用。最后，即使是有經驗的区系学家在野外工作过程中也常碰到他所不知道的某些植物。不言而喻，在地植物学家的实践中这种情况是較多的，而在一定的属具有一系列相近的、彼此相象的种的地方，在野外条件下不認識的植物的数目就不可避免地增多。

由于这个原因，即使不把闡明区系組成作为自己的特殊任务，采集标本也是野外地植物学家的必要工作之一。标本的随后整理可保証訂正野外的鑑定和有助于采集者深入掌握区系知識，当他在研究地域进行工作时，这特別重要。

在进行标本采集时，当然，植物学家应特別注意被采植物的特征，而这常常导致辨认出在一般地植物学記載中容易放过的种，并可以减少在另外的情况下容易彼此混淆的相近种的数量。研究者一次辨別了它們的差別，以后就会习惯于一看便可把它們區別出来。因此，还在野外地植物学工作时采集标本就开始表现出有利的影响。

区系标本应尽可能完备。仅仅采集对一定植物群落常見的，特征的植物（虽然，从狭隘的地植物学观点看，它们是富有特殊兴趣的）；忽視植被的“次要成分”¹⁾，并且反对采集最普通的、平凡的、事先就认为它们已很好地知道的²⁾种的标本；和集中注意于稀見的植物都是同样錯誤的。

在第一种情况下，我們便是人为地縮小詳細研究的范围和冒险地簡化，驟看似乎是一致的植被的鑑定。在第二种情况下——我們便可能处于难堪的地位；原来以为是足够了解的和沒有爭論的植物实际上却还需要詳細的研究。例如对于采集象 *Empetrum nigrum* (S. L.)、*Caltha palustris* (S. L.)、*Cardamine pratensis* (S. L.)、*Ledum palustre* (S. L.) 以及許多其它的“平凡植物”的标本的重視不够，沒有疑問，这就是妨碍較深入地研究亲緣相近的种的相应組，因而也妨碍較深入地研究它们之中每一个在植被結構中的真实作用的障碍之一。还可能发生这样的情况，在一定区系的組成中某些种沒有被揭露出来，在走馬看花的过程中，把它们与其它的，被认为如此普通以致于对于采集它们不給予任何注意的植物混淆起来。例如对于經常与普通的 *Eriophorum vaginatum* 混生的羊胡子草的某些北方种就曾經有过这样的情况。

可是，如果说在进行区系本身的研究时采集标本是主要的工作过程，而且占用植物学家大部分工作时间的話，那么，地植物学家所面临的是另外的，与完成植物群落的記載相联系的任务。因此，在自己的綜合工作中起輔助作用的采集标本的繁重工作就往往好象成了一种絆脚石。由此可見，合理限制采集标本的工作量是必要的。應該預先避免从各处采集一切标本的企图，因为在实践中这是不可能实现的。

- 1) 順便指出，在結構近似的一些植物群落中，存在（或缺乏）个别在結構中起非常次要作用的种有时恰巧更好地反应了这些群落环境的某些差別。
- 2) 在我們的标本室中，这些种的資料的常常公认的不足就是 經常忽視采集那些在鑑定时不引起怀疑的普通植物的后果。当較詳細地研究相应种的地理分布或变异性时，这有时可成为专家們工作的严重障碍。

正确安排采集时间对标本采集工作的效果有很大的意义。沿全部考察路线或多或少均匀地采集份数不多的植物初看可能觉得很方便；在进行其它工作时顺便采集标本所费时间不多，同时标本的数量将逐渐地和不断地增加。但是在科学方面，这样组织工作是不合适的：沿途的慌忙采集多少总是带有偶然性质，根据这些标本的总体不仅不能得出关于所研究地域的区系的完整概念，而且也不可能有根据地判断这些标本说明问题的不完备程度。

预先进行筹划——在什么地方和什么时候进行标本采集的主要工作。进行这步工作后就可大大减轻地植物学家在其余时间采集标本的负担——可以保证提高采集标本的地植物学家的工作效率。在其它条件相同的情况下，主要在地植物学家逗留得比较久的地方（详细地进行植被记载的半定位工作区；从那里出发到各个方向进行轻装路线调查的“宿营基地”区，等等）采集标本是比较好的。通常，在这些条件中较易为采集标本分出较多的时间，较易保证所采植物的及时制作整理和属于它们的纪录的完整性、干制采集材料的良好条件。但是最主要的是，在这种情况下，可以保证很好地弄明白区系成分在不同生境的分布和可以较全面地阐明区系的组成。

通常，在详细地研究调查地域不大地段上的区系的时候，我们认识它的区系的绝大部分种类组成；当然更不用说，在植被基本特点一致和所选地段对于整个地域（或对该地域的这个或那个颇大部分）有足够的代表性的情况下了。在过渡到具有细节不同的条件的区域时，我们经常遇到的多半是同一个种的另一样的分布，它们的频度，在一定植物群落结构中的作用的变化等等。区系组成本身的变化在这种情况下可能不大。同时，如果地域的“控制”地段的区系材料搜集得很全面，那么，我们就只用补充适当数量的“新种”标本，而不必力求广泛搜集补充材料了。

在随同主要地植物学工作进行野外区系调查时，建议以主要注意力去查明（和以蜡叶标本形式作凭据）的植物种的总体符合于具体或单元区系（конкретная или элементарная флора）的概念

(Толмачев, 1931, 1932, 1935, 1941)。这就是一般地理条件相当一致的，但其中包括一切能設想到的各种各样而有某种重复的具体生境类型的小块完整地域的区系¹⁾。

事先为各种情况确定：可以称为“具体区系分布区”(ареал конкретной флоры)的地段的面积應該有多大——这是不可能的。无疑地，在不同情况下應該有不同的面积。現在对于我們有重要意义的是可以在实践中应用，考虑到被研究区域的特性而确定的那些一般标准²⁾。

由于所有植物种都适应于一定的生境条件，因此，从視野中漏掉任何生境类型都将是区系組成登記必然不完备的原因。如果調查包括了每一个新的生境类型，将不可避免地导致被計算的植物种数量的显著增加。实际上，如果最初就統計在某种非常有限的空間內出現的植物种的总体，那么，越出这个空間范围和認識每一个新的群丛都将使这个数量增大。

这时，区系名录好象受了推力似地增加——每一个具有特殊成分的新的群丛都以整系列的种来增大名录，于是区系名录就較迅速地得到扩充。多次地調查同一个还没有总的成分名录的群丛的不同地段时也可获得这样的效果。

但是，到一定时候，研究区区系名录即停止隨該区边界的扩大的增加，或增加亦是极其有限。研究面积扩充到两倍或三倍已看不到在区系方面的效果。重复巡查已調查过的地方就发现区系新种來說也成了“徒劳无益”。这也可以作为下列情况的标准，即为

- 1) 某种重复之所以需要是因为：单独地取出的群丛或一般生境地段有时不是作为該群丛或生境类型特征的全套植物种的集中点。
- 2) B. B. 索恰瓦 (Сочава, 1932) 建議把单元地植物区的区系 (флора элементарного геоботанического района) 作为具体(单元)区系。理論上这种相互联系是不一定的。但是，作为确定应把什么看作具体区系的实际标准，这种处理方法在任何情况下都可以同意。在許多情况下，为了完全地闡明具体区系的組成，可以只仔細地研究单元地植物区的某些部分就够了。当某些地区的地植物学研究把进行詳細地植物区划作为任务之一时，应特別考虑 B. B. 索恰瓦的这个意見。

了形成关于該具体区系組成的完整概念在区系方面进行研究的面
积要多大才能足够。在考察調查的情况下，一般很难說到这一或
那一区系組成的絕對完全的闡明。实际上，我們与之打交道的只
是对于它的完备統計的不同的接近程度。但当区系組成研究达到
一定深度时，依靠新发现的种来进一步补充名录的可能性是极其
有限的，以致在实践中对它們可以加以忽略(对于在比較广泛的意义上了解区系沒有重大害处)。

当然，在具有很长生长期的地区工作时，只有研究者长久地住
在那里，或在不同時間反复地跑到那里去采集标本才能保証区系
統計的完整性。

因此，在不同景觀条件下进行較詳細的区系調查應該有不同的
的計劃。例如，在极北地区，在中夏时节(那时，发育較迟的植物也
已出現，而发育較早的植物还完全适合于采集标本)調查某一个区
就够了。在闊叶林地带，在草原区或荒漠，就必须在生长季的不同
时期进行工作。

根据过去工作的經驗，可以对不同条件規定为了足够完全地
闡明区系組成所必須調查的面积的具体大小。例如，从苏联北极
地区的工作实践可以得出結論，統計出現于离考察基地半径为 10
公里范围內的植物种，对研究具体区系的組成來說已經足够。确实，
离控制基地的距离較远在所有条件下都可能是我們見到的植物
种数量进一步有某些增加的原因。但是應該区分，区系名录的
增加是依靠該(具体)区系成分闡明的完备，还是依靠区系組成在
空間上发生的变化；因为如果越过了不同种的分布区边界(即它們
分布的地理范围本身)，那么，我們碰到的已經是第二种現象，也就是
較广闊空間內区系組成不均一性的表現了。由于这个原因，无论
“基本控制”地段的区系研究得多么詳細，采集补充它的植物种
标本永远是必要的，如果考察路線远离这一地段的話。

为了便于在野外条件下进行区系調查，在出发工作之前根据
文献中的現有資料編制在工作区可能遇到的植物的初步名录是
非常有益的。如果要进行工作的州或边区已有印刷的区系概要，就

不必特別编写名录了，但仍然应想个办法在概要中标出那些在該区可能存在的种。順便說明一下，在絕大多数的情况下，相对完备的区系名录只包括“維管植物区系”。要获得苔蘚和地衣区系的相应概要在大多数地区是不可能的。因此，凭經驗采集眼睛看到的植物仍然是唯一可能的途径。

在个别情况下，現有的文献不能为自力編制初步区系名录提供足够的依据，就可以請教于有經驗的区系学家，他可以提醒我們：在将要研究的区系的組成中可能有哪些种。这时，不必着急于特別指靠这样的預斷。在所有情况下，手头拥有可能見到的种的即使是非常近似的名录也是有用的。

研究者应在工作地点自己編制在一定程度上作为自己检查工具的另一个名录。在这个名录中記錄在工作区域所見到的全部植物种（研究者所不認識的植物可予以近似的鑑定或給予假定的名称），当植物的样品是为标本室而采集时，则应在采集种的名称下面划上重綫或在名称旁边作某种記号。这样的名录帮助我們了解：区系組成已闡明到什么程度（相于維管植物的这样的了解目标是区系种的数目——見下面），同时避免有时在采集标本时偶然的令人遺憾的疏忽。

生长在这一或那一区域的維管植物种的数量在大多数情况下，即使是在区系方面研究得很少的地域，都可相当准确地預計出来，因为这样的数字是从属于一定的地理規律的。比較熟悉这一或那一地区的自然情况的区系学家可以預先指出在这一或那一具体区域中能够登記到的維管植物的大致种数。相应的“控制数字”可以作为地植物学家的方向标，根据它，可以判断他对所研究的区系的觀察和采集已完全到什么程度。当然，不能談論这样的“控制数字”的准确性，因为决定着尚未研究的区系組成特性的許多情况誰也不知道。但是，知道野外編制的名录中的种数是否接近預期的种数，也就是說知道在該具体情况下区系組成的闡明已达到了何种完全程度，这在任何情况下都是有益的。

实际上，区系种类組成的完全闡明只有在对該地方进行了长

期的和很仔細的研究之后,才有可能办到。而在事实上,在进行地植物学研究时这又往往不能实现。因此,在野外地植物学工作的过程中,大都只能满足于比較完全的区系統計。正因为如此,重要的是能够近似地估計一下:我們已經查明了区系的可能組成的多少分量。考虑到闡明許多稀有種和少見種的困难性,可以认为,如果統計的種已占可能種數的 75—80% 时,那么,区系名錄的进一步补充就可能大大地減緩。但是,在統計到每一个区系的种类組成的 $\frac{3}{4}$ — $\frac{4}{5}$ 时,就可得出一个关于它的性质的相对完整 的概念,满足于可能进行地植物学研究的植物学家們提出的,实际上可以实现的要求了。

考慮到一定的結果應該在尽可能节省力量和時間的情况下达到,事先确定有关工作的組織形式是很重要的。如果在地植物队的組成中沒有主要負責区系部分工作的专家,那么,在进行地植物学記載时順便采集大部分标本則是不可避免的。

然而,为了节省用于区系工作的时间,最好在詳細調查的区域專門划分出一定的采集标本的时间。

首先,必須在基地(营地)附近采集所有能采集到的标本。任何蒐集工作的共同原則都是:自己近旁生长的东西不要从远方采来。應該預先減輕自己在远途旅行时采集那些在基地附近生长的植物的重担。这样,标本质量也可以得到保証,因为采集、整理和干制标本之間的时间可以縮短到最低限度。

如实践所表明:往往在离考察营地不过 1—2 公里 的范围内就可采到很大部分在全区可見到的植物种。在远途路綫調查中只应采集那些真正要从远处带回的植物。

在一定地域进行或多或少較长时间的工作时則是另一回事了——在那里逗留的头几天就应力求进行最大限度的采集工作。这样可以保証最好地搜集那些在工作开始时处于晚期发育阶段的而且再往后就可能“凋落”的植物种。但是最主要的是,这样的組織在純粹技术方面有很大的优越性。好的区系文件的必要条件——不仅是采集得很好的,而且是干制得很好的标本。如果标本

大都是在一定地点在工作的头几天采集的，那么到那里的工作結束时，許多标本已經干好或者很快就要干了，以后的照顾标本的工作就可将减到最低限度。在相反的情况下，就不得不带着要求天天換紙的蒐集物而离开长时停留的地方；途中将有許多照管工作，而且很难保証标本有很好的技术质量。如果停留在邮政方便的地方，干标本可以邮寄到有关的研究所，这就可大大減輕考察队要經常照管大件行李的負担。

在营地附近取得所有可以采集到的标本之后，在較远途的旅行时应集中注意力采集那些在营地周围沒有看到的植物。区系名录随时加以补充，而新发现植物的数量就漸漸减少。最后，当群丛的重复記載只不过是重复以前已經登記过的它們的成分紀錄时，当沒有新的群丛出現时，而植物种的总数已接近于理論上預期的种数时，那就可以认为区域区系（具体区系）組成的闡明工作已告結束。順便說一下，上述标准的最后一个目前只适用于区系中的維管植物，因为其它植物类群的种数的分布現在还研究得极其不够。同时，对非专家來說，在野外条件下認識許多种地衣以及特別是苔蘚的困难迫使他在大多数情况下完全凭經驗来采集它們，目的只是不錯过那些区别于作为这些或那些植物群落的特征的其它型式和种的植物。

研究了某一区域的具体区系以后，彷彿就得到了进一步工作依靠的标准。在进行远途路綫調查时，主要注意力应集中于采集那些在控制区沒有采集到的，因而能表明与这一研究得較多的地区区系的差别的植物。

遺憾的是：在路綫調查工作中，可以有把握地确定的只是这一或那一地方的区系与了解得較清楚的地方的正差（положительное отличие）（具有在控制区所沒有的种）。除了調查的是 极其特征的植物（例如，在基本上无林地段条件下的乔木树种）外，只有在詳細研究的过程中，才能統計出负差（отрицательное отличие）（完全缺乏这些或那些种）。

区系組成在空間上的变化不是均一的，在不同的区域和地区

具有不同的速度；随着地方条件的不同，作为标准的具体区系研究結果的“适用范围”，有时較广，有时較窄。在研究地域的或多或少彼此远离部分的两个具体区系的平行（或循序）研究，不仅为比較-区系的（сравнительно-флористический）对比提供有意义的材料，而且也能为有根据地判断所获得的結果对周围地域以及特别是对两个經詳細研究的地段之間的中間地域的适用性程度提供有意义的材料。甚至在缺少經驗資料的情况下也可能相当准确地預見它的区系的許多特性。

如果是一个分成若干独立小队的大集体来进行广闊地域的植被研究，那么，为了要对整个來說获得便于闡明整个地域的区系的合理分布的控制地段网，預先确定每一个小队应作詳細研究的地段可能有很大好处。完成这种工作不但可保証地域的地植物学記載有坚实的区系基础，而且在积累有充分价值的資料以便判断苏联研究得很少的地区的区系方面也起着很大的作用。

在許多广泛流行的專門指南中十分全面地討論了采集和干制植物的技术方法。提醒一下，掌握这些方法对于每一个地植物学家是絕對需要的。此外，我們談談特別与地植物学研究过程中进行区系采集有关的若干問題。

在地植物学家采集的标本中常常出現所謂副号标本（сборный лист）——为了訂正鑑定而在記載这一或那一植物群落时采来的个别植物标本的各种各样的副分。这些标本頁中的材料往往是片断的和未經正确制作的。进行这样的采集的必要性很明显：在許多情况下，这些标本是校正和补充有关紀錄的唯一工具。不难理解，采集这样的材料常常进行得很仓促，它們在区系本身方面的价值是有限的，特別是由于它們的片断性和往往保存得不好。但是，如果这些副号标本是用来补充按全部規定采集的植物标本的，那么，区系-分类学家将乐意去审查和鑑定副号标本的材料。只有根据它們，才有可能对属于較难准确鑑定的类群的材料的分类学属性作出正确可靠結論。专家根据采集得很好的材料熟悉了区系的种类組成，进一步就可以不动搖地鑑定那些沒有遵照标准的技

术要求所采集的标本了。因此，必须既把采集材料与地植物学記載结合起来，也作为研究区域区系組成的充分有价值的(在科学方面和在技术方面)反映的“依据”标本。

細心地对待标本的标签有重大意义。地植物学家們抱怨现有的区系指南(“植物志”)极不完全地和极粗放地反映关于大多数植物种的生长条件的資料是應該的。甚至在現代的一些汇編中常常还会出現这样的指示：某一个种生长“在森林中”、“在河谷中”、“在斜坡上”、“沿铁路的路堤上”等等。从地植物学的观点看来，这样的指示令人滿足到什么程度，是不需要說明的。这种情况的存在不仅仅要归罪于分类学家对他們所研究的种的生物学資料和专门的地植物学資料重視不够，很多情况也是由于标本上标签——原始紀錄上的相应資料不完备，而分类学家是依靠这些紀錄来判断他們所研究的种的地理分布和生长条件的。因此，为了改善区系著作中对植物的生物学和群落学联系的闡述，必須在标本的标签上以必要的詳細和准确填上相应的資料。很遺憾，就是地植物学家本人也往往忽略这一点。然而，正是在进行植被記載时順便采集标本的地植物学家有可能准确地評述这一或那一植物种生长的条件。最好在基本(“依据”)标本貼标签时就作到这一点：应在附属于每一个种的标本的标签上不仅写明地理地点和生境的地形性质(例如某种坡向的斜坡)，而且也写明在其中采集标本的植物群丛。如果补充写上：在該地方所記載的种一般出現于什么条件，那就更好了。

我們曾經強調过正是在标本的标签上填写这些資料的重要性。当然，它們在地植物学記載中的存在也能巩固相应的知識。但是，照例，只有直接整理这些蒐集物的区系学家才利用这些記載。遺憾的是，与多年积累的关于每一个种的广泛資料打交道的綜合区系著作的作者并不研究专门的地植物学文献，在档案室保存的(在較好的情况下！)原始地植物学記載就更不用說了。他們在自己的植物种生长条件的評述中，基本上依靠标本标签上的資料。当批判地审查植物鑑定时(由于分类学領域內知識的加深)，依靠

标本的标签成为唯一的方法,因为不能不认为,只有“系在”具体标本上的指示是完全可以信赖的。

地植物学家在附属于植被记载的副号标本中搜集补充材料时,常常局限于注出副号标本所属记载的编号。在野外条件下这是可以同意的。但是在将材料交给专家审查时,应该供给他们澄清的标签。在上面,无论是地形适应性方面或者是群丛命名方面(或一般地说地段的这种或那种评定),都要清楚地写出记载编号。

无论如何都不能忽视在标签上写出采集日期¹⁾。日期可说明被采集植物的一定状态所从属的时间。采集人的签名,特别是有不同的人参加了采集工作时,决不是无聊的形式主义。应该记住:标本的标签(也象植物标本一样)是长期保存的文件,就是将来,对如何和在甚么情况下曾经进行过我们今天正在进行的那种植物学调查没有任何概念的人,可能要象对待文献一样来对待这些标签。

最后,应该防止不合理地在野外花费时间来给某些植物的草稿标签填写一般性质的资料,例如:考察队或组织机关的名称,在其领土上进行调查的加盟共和国等等。所有这些资料应反映在印刷的空白标签上。当整理标本时,所有纪录都将移到这种空白标签上去。在野外工作过程中,必须集中全部注意于准确地填写象地理地点、生境、采集日期等等这样的一些不能“搬出括弧以外”的资料。

(李 恒译, 陈昌笃校)

参 考 文 献

1. 文中引用的著作

Сочава В. Б. 1932. Высокогорная флора Дуссе-Алиня. Ботан. журн., т. 17, № 2.
Толмачев А. И. 1931. К методике сравнительно-флористических исследований. Понятие о флоре в сравнительной флористике. Ботан.

1) 写采集日期时,务必把年、月、日都写全。人们有时把年忽略掉,但是,有时因与采集人无关的某种原因而耽搁了澄清标本的标签时,没有采集年的材料将引起许多困难,而有时甚至造成错误。

журн., т. 16, № 1.

Толмачев А. И. 1932, 1935. Флора центральной части Восточного Таймыра, I—III. Тр. Полярн. ком., вып. 8 и 13 (1932), 25 (1935).
Толмачев А. И. 1941. О количественной характеристике флор и флористических областей. Тр. Сев. базы АН СССР, вып. 8.

2. 标本采集指南

Бединггауз М. П. 1952. Засушивание растений с сохранением естественной окраски. Учпедгиз, М.

Программы и наставления для наблюдений и сортирования коллекций по естественной истории. 1913. Изд. 7-е. СПб.

Ростовцев С. 1908. Как составлять гербарий. Изд. 6-е, М.

Сюзев П. В. 1949. Гербарий. Руководство к собранию и засушиванию растений для гербария и составлению флористических коллекций. Изд. 7-е, перераб. и дополн. А. Н. Бухгеймом. Изд. Моск. общ. испыт. прир., М.

Талиев В. И. 1900. Руководство к сознательной гербаризации и ботаническим наблюдениям. СПб.

Шишкин Б. К. 1941. Как составлять гербарий. Изд. 2-е. Изд. АН СССР, М.—Л.

Перфильев И. А. 1919. Как собирать и сушить растение для гербария. Вологда.

3. 了解苏联和苏联各部分区系的参考书

包括有关州(边区, 加盟共和国)或较广地区的区系资料的任何汇编性著作都可以作为了解研究地区区系的参考书。对于野外工作最方便的是植物检索表, 因为它们比较紧凑和没有繁琐的细节。多卷的专著性汇编(所谓“植物志”)虽然由于有详细的植物描述, 可保证鉴定的最大准确性, 但由于篇幅很大, 只适合于室内应用。区系概要虽不能直接作为鉴定植物的参考书, 但是提供了关于该地方可能存在哪些植物的概念, 因而实际上大大减轻了鉴定工作。

在野外工作条件下, 迅速了解资料有特别的意义, 这时, 利用关于或多或少有限地域的区系的汇编性著作比较方便。它们没有那些繁多的, 在研究调查区系时无直接意义的资料。因此, 在其它条件相同的条件下, 利用各个地区的检索表或“植物志”比利用更广泛类型的汇编更为方便。例如, 研究阿塞拜疆地区的区系时, 就可利用“苏联植物志”、“高加索植物志”和“阿塞拜疆植物志”。后者的优点是: 其中所描写的仅仅是在该共和国境内所能见到的植物, 没有关于许多不长在该共和国范围以内的植物种的资料。根据它, 很容易准确地鉴定在阿塞拜疆所采集的植物。但是, 举例来说, 如果是鉴定阿普歇伦半岛的植物, 那么可以更加有效地利用现有的“阿普歇伦植物志”, 因为它的全部内容对于这工作都有直接的意义。

因为许多加盟共和国和州都没有自己本地区的汇编性著作, 有时就不能不利用相邻各州的区系参考书。这样也就不能保证把所有采得的资料都鉴定出来, 但能保证它的大部分足够准确地被鉴定。例如在卡累利自治共和国进行工作时, 可以非常有效地利用“北方边区植物志”。为了初步了解, 还可利用“列宁格勒州植物志”和“穆尔曼州植

物志”已出版的各卷。如果我們拥有一定地域的区系概要，在利用专为当地編制的检索表的情况下，查閱它們可得到很大的帮助。

下面，我們列举了現代(革命后出版的)文献中所有的植物检索表(一部分也象大型的汇編一样，叫作“植物志”)，具有詳細描述材料的专著性汇編以及在一定地域上登记到的植物种概述而沒有它們的描述的区系压缩概要。

(1) 有詳細植物描述的区系汇編

Вульф Е. В. 1927—1953. Флора Крыма. Т. I, вып. 1—1927, вып. 2—1929, вып. 3—1930, изд. Гос. Никитск. ботан. сада; вып. 4—1951 (злаки), Сельхозгиз, М. Т. II, вып. 1—1947, Сельхозгиз, М.; вып. 3—1953, изд. «Советская наука», М.

Гроссгейм А. А. 1939—1952. Флора Кавказа, тт. I—V. Изд. 2-е. Тт. I—III—изд. АН АзССР, тт. IV и V—изд. АН СССР.

Карягин И. И. 1952. Флора Апшерона. Изд. АН АзССР, Баку.

Колаковский А. А. 1938—1949. Флора Абхазии, тт. I—IV. Сухуми. Т. I, 1938, изд. инст. абх. культуры; т. II, 1939, изд. Абх. инст. ист. и яз., т. III, 1948, АБГИЗ; т. IV, 1949, АБГИЗ.

Комаров В. Л. 1901—1907. Флора Маньчжурии, тт. I—III. Тр. СПб. ботан. сада, тт. XX, XXII и XXV. См. также: Избр. соч., тт. III—V. 1949, 1950. Изд. АН СССР, М.—Л.

Комаров В. Л. 1927—1930. Флора полуострова Камчатки, I—III. Изд. АН СССР, Л. См. также: Избр. соч., тт. VII и VIII. 1951. Изд. АН СССР, М.—Л.

Крылов П. Н. 1927—1949. Флора Западной Сибири, вып. I—XI. Изд. Томск. гос. унив. и Томск. общ. испыт. прир., Томск.

Петров В. А. 1930. Флора Якутии, вып. 1. Изд. АН СССР, Л.

Попов М. Г. 1957. Флора Средней Сибири, т. I. Изд. АН СССР, М.—Л.

Флора Азербайджана, тт. I—VII. 1950—1957. Под ред. И. П. Карягина. Изд. АН СССР, Баку.

Флора Азиатской России, вып. I—III. 1923, 1924. Под ред. Б. А. Федченко. Изд. Гл. ботан. сада, Л.

Флора Армении, тт. I и II. 1954, 1956. Под ред. А. Л. Тахтаджяна. Изд. АН Арм ССР, Ереван.

Флора БССР, тт. I—IV. 1949—1955. Под ред. Б. К. Шишкина. Изд. АН БССР, Минск.

Флора Грузии, тт. I—VIII. 1941—1952. Под ред. А. К. Макашвили и Д. Н. Сосновского. Изд. АН ГрузССР, Тбилиси. (На груз. яз.).

Флора Забайкалья, вып. I—VI. 1929—1954. Под ред. Б. А. Федченко, И. В. Палибина и Б. К. Шишкина. Изд. АН СССР, М.—Л.

Флора Казахстана, тт. I и II. 1956, 1958. Под ред. Н. В. Павлова. Изд. АН КазССР, Алма-Ата.

Флора Киргизской ССР. Определитель растений Киргизской ССР, тт. I—VII. 1950—1957. Под ред. А. И. Введенского и Б. К. Шишкина.

Изд. АН КиргССР, Фрунзе.

Флора Ленинградской области, тт. I и II. 1953, 1956. Под ред. Б. К. Шишкина. Изд. Ленингр. гос. унив., Л.

Флора Мурманской области, тт. I—III. 1953—1956. Под ред. Б. Н. Городкова и А. И. Поярковой. Изд. АН СССР, М.—Л.

Флора Сибири и Дальнего Востока, вып. 1—6. 1913—1931. Изд. Ботан. музея АН СССР, Л.

Флора СССР, тт. I—XXV. 1934—1959. Под ред. В. Л. Комарова и Б. К. Шишкина. Изд. АН СССР, М.—Л.

Флора Таджикистана. Изд. АН СССР, М.—Л., т. 1, 1957, под ред. П. Н. Овчинникова; т. 5, 1947, под ред. В. Л. Комарова.

Флора Туркмении, тт. I—VI. 1932—1954. Под ред. Б. А. Федченко, М. Г. Попова и Б. К. Шишкина. Изд. АН СССР и АН ТуркмССР, Л.

Флора Узбекистана, тт. I—III. 1941—1955. Под ред. Р. Р. Шредера, Е. П. Коровина и А. И. Введенского. Изд. АН УзССР, Ташкент.

Флора УССР, тт. I—VIII. 1938—1957. Под ред. О. В. Фоминой, Е. И. Бордзиловского и Д. К. Зерова. Изд. АН УССР, Киев. (На укр. яз.).

Флора юго-востока Европейской части СССР, вып. 1—6. 1927—1938. Под ред. Б. А. Федченко. Тр. Гл. ботан. сада, тт. XL и XLIII.

Eesti NSV Flora, тт. I и II. 1953, 1956. Под ред. А. Вага и К. Эйхвальда. Эст. гос. изд., Таллин. (На эст. яз.).

Latvijas RSR Flora, тт. I—III. 1953—1957. Под ред. П. Галеника. Латгосиздат, Рига. (На латышск. яз.).

(2) 植物检索表

Визначник квіткових та вищих спорових рослин УССР, т. I. 1935. Под ред. М. Лясковского. Держ. вид. с.-госп. лит. УРСР, Київ.

Визначник рослин УРСР. 1950. Под ред. М. В. Клокова. Держ. вид. с.-госп. лит. УРСР, Київ—Харків.

Гейдеман Т. С. 1954. Определитель растений Молдавской ССР. Изд. АН СССР, М.—Л.

Говорухин В. С. 1937. Флора Урала. Обл. изд., Свердловск.

Григорьев Ю. С. 1953. Определитель растений окрестностей Сталинабада. Изд. АН СССР, М.—Л.

Гроссгейм А. А. 1949. Определитель растений Кавказа. Изд. «Советская наука», М.

Комаров В. Л. и Е. Н. Клобукова-Алисова. 1925. Малый определитель растений Дальневосточного края. Изд. «Книжное дело», Владивосток.

Комаров В. Л. и Е. Н. Клобукова-Алисова. 1931, 1932. Определитель растений Дальневосточного края, тт. I и II. Изд. АН СССР, Л.

Маевский П. Ф. 1954. Флора средней полосы Европейской части

СССР. Изд. 8-е. Сельхозгиз, М.—Л.

Невский М. Л. 1952. Флора Калининской области. Определитель по крытосеменных (цветочных) растений дикой флоры. Калининск. изд., Калинин.

Определитель растений Апшерона. 1931. Под ред. А. А. Гроссгейма. Изд. Азернешр, Баку.

Определитель растений окрестностей Ташкента, вып. I и II. 1923, 1924. Под ред. М. Г. Попова. Изд. Туркест. гос. унив., Ташкент.

Перфильев И. А. 1934 и 1936. Флора Северного края, тт. I и II. Севкрайгиз, Архангельск.

Станков С. С. и В. И. Талиев. 1957. Определитель высших растений Европейской части СССР. Изд. 2-е. Изд. «Советская наука», М.

Флорова В. М. и Л. Г. Раменский. 1932. Определитель растений в нецветущем состоянии для средней части СССР. Гос. изд. с.-х. и колхозно-коопер. лит. М.—Л.

(3) 区系概述

Васильев В. Н. 1957. Флора и палеогеография Командорских островов. Изд. АН СССР, М.—Л.

Воробьев Д. П. 1956. Материалы к флоре Курильских островов. Дальневост. фил. АН СССР, сер. ботан., т. III.

Караваев М. Н. 1958. Конспект флоры Якутии. Изд. АН СССР, М.—Л.

Лесков А. И. 1937. Флора Малоземельской тундры. Тр. Сев. базы АН СССР, вып. 2.

Мишкин Б. А. 1953. Флора Хибинских гор, ее анализ и история. Изд. АН СССР, М.—Л.

Попов М. Г. 1949. Очерк растительности и флоры Карпат. Матер. к позн. фауны и флоры СССР, Отд. бот., нов. серия, вып. 5 (13). Изд. Моск. общ. испыт. прир., М.

Соболевская К. А. 1953. Конспект флоры Тувы. Изд. АН СССР, Новосибирск.

Толмачев А. И. 1931. Материалы для флоры европейских арктических островов. Журн. Ботан. общ., т. 16, № 5—6.

Толмачев А. И. 1932, 1935. Флора центральной части Восточного Таймыра. Тр. Полярн. ком., вып. 8 и 13, 1932; вып. 25, 1935.

Толмачев А. И. 1936. Обзор флоры Новой Земли. Arctica, т. 4.

(4) 苔藓区系和检索表

Абрамова А. Л., К. И. Ладыженская, Л. И. Савич-Любицкая. 1954. Андреевые и бриевые мхи. В кн.: Флора споровых растений СССР, т. I. Изд. АН СССР, М.—Л.

Бротерус В. С. 1914—1931. Мхи Азиатской России (Bryales). Ч. 1 в

кн.: Флора Азиатской России, вып. 4, 1914; ч. 2, там же, вып. 13, 1918; ч. 3 в: Тр. Ботан. сада АН СССР, т. 42, вып. 1, 1931.

Зеров Д. К. 1935. Визначник сфагнових (торфових) мохів України. Видавн. Всеукраїн. Акад. наук. Київ.

Зеров Д. К. 1939. Визначник печіночних мохів УРСР. Видавн. АН УРСР, Київ.

Корчагин А. А. и Л. И. Савич. 1949. Мохообразные (*Brachythecium*). Жизнь пресных вод, т. II. Изд. АН СССР. М.—Л.

Лазаренко А. С. 1936. Визначник листяних мохів УРСР. Видавн. АН УРСР, Київ.

Лазаренко А. С. 1936. Краткий определитель лиственных мхов Дальнего Востока. Дальневост. фил. АН СССР, Владивосток.

Лазаренко А. С. 1951. Определитель лиственных мхов БССР. Изд. АН БССР, Минск.

Лазаренко А. С. 1955. Определитель лиственных мхов Украины. Изд. 2-е. АН УССР, Киев.

Савич Л. И. 1936. Сфагновые (торфяные) мхи Европейской части СССР. Изд. АН СССР, М.—Л.

Савич-Любицкая Л. И. 1952. Сфагновые (торфяные) мхи. В кн.: Флора споровых растений СССР, вып. 1. Изд. АН СССР, М.—Л.

Савич Л. И. и К. И. Ладыженская. 1936. Определитель печеночных мхов севера Европейской части СССР. Изд. АН СССР, М.—Л.

(5) 地衣区系和检索表

Еленкин А. А. 1906—1911. Флора лишайников Средней России, ч. I—IV. Юрьев.

Окснер А. М. 1937. Визначник лишайників УРСР. Видавн. АН УРСР, Київ.

Окснер А. М. 1956. Флора лишайників України, т. I. Видавн. АН УРСР, Київ.

Савич В. П. 1950. Подводные лишайники. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. II, Споровые растения, вып. 5.

Томин М. П. 1936, 1938. Определитель лишайников БССР, т. I (1936), т. II (1938). Изд. АН БССР, Минск.

Томин М. П. 1937. Определитель кустистых и листоватых лишайников СССР. Изд. АН БССР, Минск.

Томин М. П. 1936. Определитель корковых лишайников Европейской части СССР (кроме крайнего севера и Крыма). Изд. АН БССР, Минск.

植物群落低等成分的研究

作为植物群落成分的大型真菌¹⁾的研究

Л. Н. 瓦西里耶娃 (Васильева)

(苏联科学院远东分院)

植物群落中的真菌

在所有的植物地带和植物群系中，包括旱生及盐生的植物群系在内，都可以遇到真菌。他们甚至还生长在耕作土壤上，不过在森林群落中特别丰富。

A. A. 雅切夫斯基(1922)和 A. П. 謝尼科夫(1943)曾写过关于研究作为植物群落成分的真菌的重要性。但是到目前为止，在苏联的文献中还很少报导有关植物群落中的真菌問題。因此，所收集到的有关作为植物群落成分的真菌資料，即使为数不多，只要是很正确，也都将具有很大的科学意义。

决定植物群落中真菌种类組成的各种因素，是和决定高等植物种类組成的因素一样，但是对于真菌來說，某些高等植物的存在往往具有决定性的意义，尤其是乔木树种，它们是真菌的营养来源。

真菌与高等植物不同之点是它们所有的营养部分(菌絲体)，一般是存在于基质的内部，从这里它们取得必需的营养物质。在外面所露出的仅是它们的繁殖器官——子实体，这些子实体通常称为蘑菇。不同种真菌的子实体，生存的时间是不同的。例如，某

1) 大型真菌是指能形成肉眼可見的子实体的所有高等担子菌和子囊菌。

些鬼伞菌属(*Coprinus*)的子实体它們生存的时间是以几小时来計算，大多数种真菌的肉质子实体则能生长若干天，然后就开始腐烂，仅为数不多的、多半是属于多孔菌科的几种真菌具有干燥而坚硬的子实体，它們可以生长好几年。

由于真菌的营养体是隐藏于基质内部，如果没有繁殖器官仅从菌絲体来判断，则真菌的种一般是不可能識別出来的，因此它們的存在和分布仅能按子实体的出現来判断。同时，还要考慮到它們的多度和季相，这两者都是由能大量形成子实体的种类所构成的。真菌的季相有时并不見得比高等植物少，例如：远东鹅膏菌(*Amanita caesareoides*)是火紅色，*Laccaria amethystina*是淡紫色的，辣乳菇(*Lactarius piperatus*)是白色的。某些种仅在春季形成子实体，另一些种是在夏季，还有些种是在秋季，而仅少數的种是在整个生长期都形成子实体；但是它們絕大多数的生存时间是不长的。真菌的出現时期是受着降雨季节的影响，而且每年都在变化着。很多种并不是每年都形成子实体。

在我国不同地区，真菌大量生长的季节也不相同。在森林地带多半是在秋季，而在中亚細亚的荒漠地区是在春季。

在不同的植物群落中，真菌种类的多样性是极不相同的。例如：在卡贊郊区的越橘云杉松林中，在0.25公頃的面积上曾遇有130种大型真菌，同时，它們的数量超过种子植物数量6倍以上。在地衣松树林内，在同样的面积上总共記載了40种真菌。在草本植物群丛中真菌区系还要貧乏。

在树木营养及森林土壤形成过程中，真菌起着很重要的作用，它們在那里分解着植物残体。

森林真菌可分为两大类：一类是生长在土壤上的真菌，它們在土壤上形成所謂真菌覆盖层(地上层片)，另一类是生长在活树、枯立木、倒木、伐椿以及大的枯断树枝上的喜木质真菌，它們是属于层外层片(树干、伐椿及其它的层片)。

属于真菌覆盖层的有残落物的分解菌、腐殖质的腐生菌、木本植物的菌根菌、喜粪菌及其他种真菌。

菌根真菌把氮和磷供給与自己共生的木本植物。針叶树种(松树、西伯利亚松、云杉、冷杉、落叶松)以及某些闊叶树(橡树、山毛櫟、樺树等),尤其是在貧瘠土壤上,如果在它們的根上沒有菌根,就不能生长。同样地,菌根真菌如果沒有与适当的木本植物共生,也不能形成子实体。

能形成菌根的真菌有: 1)牛肝菌科的牛肝菌(*Boletus edulis*)、黃皮牛肝菌 (*Ixocomus luteus*)、樺树鱗皮牛肝菌 (*Krombholzia scabra*)、松树金黃牛肝菌 (*Krombholzia aurantiaca*) 等; 2) 伞菌科的卷边乳菇(*Lactarius resimus*)、乳菇属 (*Lactarius* spp.) 的其他各种、紅菇属 (*Russula*) 和鹅膏菌属 (*Amanita*) 等; 3) 口蘑属 (*Tricholoma*) 的很多种、赤山菌属 (*Hygrophorus*) 及絲膜菌属 (*Cortinarius*)。

菌根菌的专性范围各有区别。它們之中,有許多只能在一个属的各树种上形成菌根,例如 *Boletinus cavipes* 及格氏牛肝菌 (*Ixocomus Grevillei*) 只能与落叶松属形成菌根;而另外一些則具有較广的专性,它們可与很多种針叶和闊叶树种形成菌根。例如: 松乳菌 (*Lactarius deliciosus*) 具有三种专化变型(松树变型、云杉变型及冷杉变型),能生长在松树、云杉及冷杉之下。也有这样的真菌,它們在闊叶树种和針叶树种上都能形成菌根。其中某些,例如: 可食牛肝菌 (*Boletus edulis*),可划分成专门的生物型式: 如橡树变型、鵝耳櫟变型、白樺变型、松树变型及云杉变型等。其中的每一个变型只能在一个树种上形成菌根。但是还應該注意,菌根菌和其他真菌在不同地区它們的专性也是不一样的。

橡树和松树林內的真菌区系最丰富,落叶松林內真菌种类要少得多,而在紫杉及白蜡林內則最少。在群落中,甚至于混交着单个的松树、橡树、落叶松、云杉及樺树等树种时,都可引起与它相适应的真菌出現。它們甚至于在距离它們与之相联系的树干 10 米以内也能够生长。

有时,菌根菌在林分破坏以后的 10—20 年內,还能继续形成子实体。这时,伐椿的根系就是該树种下一代幼树的小根 感染菌

根的来源。

在同一植物群系的不同群丛内，真菌种类的组成是依土壤条件而改变。例如：山楊牛肝菌 (*Ixocomus bovinus*) 经常生长在越桔松林和泥炭藓松林内，而黄皮牛肝菌 (*Ixocomus luteus*) 则在地衣松林、牙疮疽松林及椴树松林内生长。

草被层、苔藓层及死地被层的特点对真菌子实体的发育都有着影响。在枯枝落叶层发育弱或是已被除去的地段上菌根菌的子实体形成数量最多。繁茂的草本植物对真菌的生长及其子实体的形成是不利的。

真菌群落的组成是随着林分的年龄而改变。例如：在松树幼林内有着大量的黄皮牛肝菌，而可食牛肝菌则出现在年龄较大的松树林内。

真菌盖被的成分具有不同的生态学特性，首先它们对一定基质（营养来源）的适应性各有不同。

Hygrocybe 属的大部分种是属于腐殖质腐生菌，它们是生长在裸露的、没有枯枝落叶层的地段上，或者，它们菌柄的基部是生长在腐殖质层内（大部分菌根菌也是这样）。陡头菌 (*Clitocybe*)、小伞菌 (*Lepiota*)、金錢菌 (*Collybia*) 等属的各个种是以菌丝体伸入到森林枯枝落叶层中。这一组真菌子实体的菌柄基部经常位于枯枝落叶的厚层内，但并未达到腐殖质层。小皮伞菌属 (*Marasmius*) 及小菌属 (*Mycena*) 的某些体型小的种，它们生长在树木的新鲜的凋落物——叶子、针叶、枝条、球果、果实上及在草本植物的枯枝落叶上。

在形成地面层片的真菌区系中，也具有喜藓的、喜碳的、喜粪的及喜菌的各种菌类。喜藓的真菌是与苔藓有关。在它们之间专门分出有喜泥炭藓的组（如 *Galerina* 及其他属的种），它们生长在泥炭藓上；喜碳的真菌如碳火焰菌 (*Flammula carbonaria*) 是生长在火堆及火烧迹地碳屑上；喜粪的真菌是分布在粪便上，而喜菌的是生长在老的菌盖上。后三组的真菌，不管是在各种森林群系之内或是在林外，只要是在自己特有的基质上都可以发育。

喜木质的真菌同样也具有不同范围的专性。它们之中，有一些仅生长在某一个属的树木上，例如：*Piptoporus betulinus* 只在桦树上生长；另一些，例如松树白腐菌(*Phellinus pini*)能生长在各种针叶树上；还有一些，如红边菌(*Fomitopsis pinicola*)，既能生长在针叶树上，又能生长在阔叶树上。

喜木质真菌的某一些种仅适应于活的树干；另一些种是适应于枯立木；第三种适应于根部；第四种适应于伐椿；第五种适应于倒木；也有这样的种，既生长在枯立木上，又生长在倒木上。活树干的寄生菌往往在树木死后仍作为腐生菌继续发育。

腐朽的木材象海绵一样吸收水分，所以甚至在干旱的年代，在腐木上也能生长真菌，但这时对于地面上的真菌，特别是肉质的菌根菌类的发育，土壤中水分已经不够了。

在草本群落中，同样也具有不同生态学的真菌：腐殖质腐生菌、草本植物残体的腐生菌、喜藓的和喜粪的真菌等。

放牧对真菌的组成具有很大的影响。某些种，例如食用小皮伞菌(*Marasmius oreades*)，适应于放牧牲畜的地方。在垃圾堆上则发育着特有的屑堆微生物区系。

群落中真菌的定位研究方法

植物群落中的真菌种类组成，只有在固定样方上进行为期至少是三年，最好是五年的定位研究，才能得到应有的了解。这样的观察期限，使得那些在个别不利年代内不能出现的种类也能得到调查。

真菌群落的研究最好和植物群落的全面综合研究共同进行。

对植被的综合研究来说（其中也包括真菌在内），选择固定样地是非常重要的。选择固定样地应根据土壤和高等植物的特征来进行，要求它们应该是一致的。

研究森林群落的真菌，应该按林型设置样方，每个样方的大小应为 400 平方米。在着手研究真菌之前，必须详细地、全面地分析

和記載群落的組成和結構, 以及它的生長地條件, 特別是要注意描述微地形、死地被物、土壤上倒木的特性和數量、腐朽的伐椿、蚁垤等。

對樣地以外相鄰近的所有樹種也必須注意, 因為它們的根系能夠伸入到樣地內來。為了更精確地確定真菌與基質和樹種的關係, 也必須研究樣地以外的真菌區系。

樣地上的真菌研究應該在整個生長期內進行, 也就是自出現首批春季種類的子實體起至晚秋生長停止時為止, 在蘇聯中部地帶這個時期將是自4月20日或是5月1日起到10月15日止。真菌的調查應該經常地每隔10天進行一次, 在其大量的出現時期應每隔5天調查一次。

研究樣地上的真菌具有下列的目的: 1) 編制每年的和整個觀察期內的真菌全部名錄; 2) 調查不同觀察時期內真菌多度的變化和真菌季相的更替; 3) 了解真菌的生態學, 以及它們與高等植物和植物群落的聯繫。

進行真菌調查, 在野外必須備有: 籃子、背囊、刀子、紙袋(和采集苔蘚用的一樣)、4開和12開的報紙用來包濕的大型真菌標本、標本記載簿(若是標本記載是在野外進行而不在室內)、真菌調查簿(按照後附的格式)、標簽、放大鏡、鉛筆、繪制真菌分布圖的圖紙、油布(蓋籃子用以防漏雨或晒干標本)、鋸子(鋸取小型標本和清除標本上的苔蘚、枯葉和泥土用)。

每一次調查真菌都是由目測各個種的多度開始。多度級一般是採用哈斯的分級法(Haas, 1932):

5——到處都常見;

4——在很多地方出現;

3——不均勻, 分散;

2——很分散;

1——個別;

+——只在一個地方有一株或是一群、一堆。

真菌種類的名稱必須按照遇見的順序記載於表格內(見附

Piceeto-Tilietum equisetosum-mercurialisum 群丛中 № 1 固定样地上真菌统计表

(卡策市城郊拉伊弗林場 67 林班)

編 號	真菌的名称或是标本編號	基 質	聚 生 度	5 月				6 月				7 月				8 月				9 月				
				8	18	28	8	18	28	8	18	28	8	18	28	8	18	28	8	18	28	8	18	28
1	<i>Marasmius esculentus</i>	云杉球果上 土	1 4 (直線)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	2
2	<i>Verpa bohemica</i>	火堆灰上 同	2 2,3 枯枝落叶上	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	<i>Picaria violacea</i>	火堆灰上 同	2 2,3 枯枝落叶上	-	-	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	<i>Geopyxis carbonaria</i>	火堆灰上 同	2 2,3 枯枝落叶上	-	-	-	-	-	-	2	+	+	1	1	1	1	+	1	+	1	+	1	+	1
5	<i>Collybia dryophila</i>	火堆灰上 土壤上或腐 朽的倒木 上(与根 树相联系)	1,2 1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	<i>Flammula carbonaria</i>	同	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	枯枝落叶层 同	2 2 土壤上	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	真菌 № 5	枯枝落叶层 同	2 2 土壤上	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	<i>Clitocybe infundibuliformis</i>	同	2 1,2,4 土壤上	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	<i>Hydnangium repandum</i>	同	2 1,2,4 土壤上	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表)。每一种都必须详细记载其菌柄基部所着生的基质(若是各个个体着生的基质不同时,则每一种基质,都应进行记载):在裸露的土壤上、在分解了的枯枝落叶层上、在针叶上、在阔叶上、在碎木块上、在枯枝落叶层内的小枝上、在球果上、在阔叶树的果实上、在草本植物的根茎上、在草本植物叶子的基部、在树皮碎块上、在苔藓上、在某种动物的粪便和排泄物上、在老菌的菌盖上、在碳屑上、在昆虫的尸体上等等。

对于地面的真菌种类必须详细研究它们与乔木树种的根有无联系,以及是什么样的联系:适应于根际范围,在纤细的根上形成菌根或是伸入到根的木质内部,后面一种情况,例如鹿花菌(*Gyromitra esculenta*)就是,它经常生长在采伐迹地上,它的菌丝体和松树的伐椿相连,而在有些林份内,它和活的松树的根相连。确定这种联系的特性是非常重要的。

然后,按照哈斯的五种等级来确定“聚生度”:

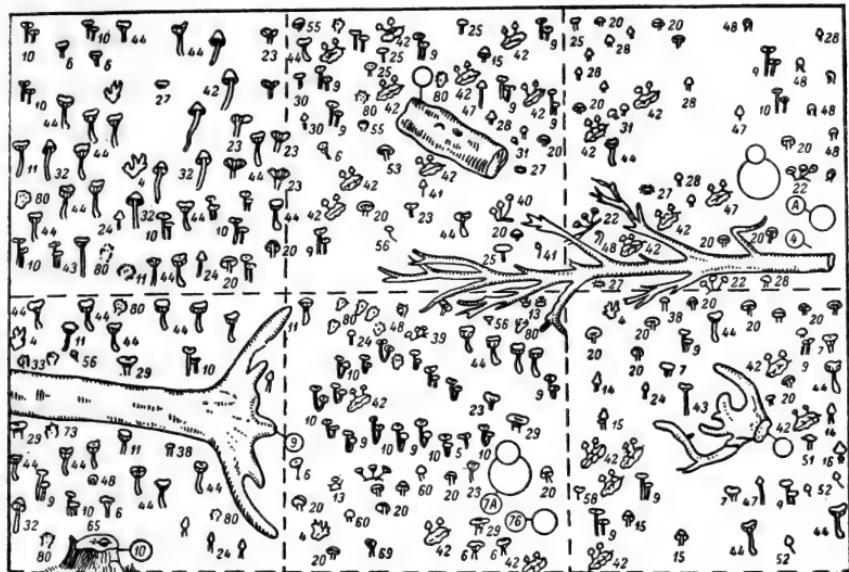
- 5——在整个地面上都均匀分布;
- 4——成行、环状或其它聚集形状;
- 3——大群、大簇;
- 2——小群、小簇;
- 1——单株。

基质和聚生度应在第一次发现该菌时就进行记载,以后若是该菌出现在另一种基质上或是聚生度有所变化时,则在此栏内进行补充。若是真菌集聚在一块,则应说明它们集聚的特点和大小,例如:直径达260厘米的仙环状;沿云杉根伸延长达3米的直线状;30—80个一簇等等。

在每十天一次的调查中,应按哈斯级记载每一个种的多度。在记载各个种多度的调查簿(调查表)内,应在前面或后面留出几页,以便记载每一次十天调查时真菌覆盖被中各个种的总的多度和季相。为了对样方上真菌的分布能有清晰的概念,应把它们繪制成比例尺为1:50的平面图(每1厘米代表0.5米)。

为此,应把标准地划分成25平方米的方块,每块的边长为5

米。在图上首先繪下所有树干和树冠、枯立木、倒木和伐椿以及較大的枯断树枝的垂直投影(見图);最好还画出高起的小地形。然后,



在划分成25平方米方格的部分样地上真菌分布的平面图 (羊角
芹橡树林, 9月初)

(恰斯图辛和尼可拉也夫斯卡娅著作的部分图, 1953)

4—*Clavaria* sp.; 6—*Clitocybe infundibuliformis*; 9—
Collybia asema; 10—*Collybia confluens*; 11—*Collybia dryophila*; 13—*C. cirrhata*; 15—*Inocybe geophylla*; 16—
Cortinarius hinnuleus; 20—*Hebeloma crustuliniforme*; 22—
Helotium virgulorum; 23—*Hygrophorus olivaceo-albus*;
 24—*Inocybe geophylla* f.; 25—*I. umbrina*; 26—*I. fastigiata*;
 27—*Lachnea hemisphaerica*; 28—*Laccaria lacata*;
 29—*Lactarius volemus*; 30—*Lepiota cristata*;
 31—*Leptonia* sp.; 32—*Collybia longipes*; 33—*Lycoperdon umbrinum*; 36—*Marasmius Bulliardii*; 38—*M. erythropus*;
 39—*M. ramealis*; 40—*Mycena galericulata*;
 41—*Mycena erubescens*; 42—*Mycena debilis*; 43—*Mycena polygramma*;
 44—*Mycena pura*; 47—*Mycena vitrea*;
 48—*Otidea grandis*; 52—*Rhodophyllus xylophyllus*;
 53—*Russula xerampelina*; 55—*Sepedonium chrysospermum*;
 56—*Sclerotinia pseudotuberosa*; 60—*Tricholoma album*;
 61—*Stereum hirsutum*; 69—*Tricholoma grammopodium*;
 80—*Lycoperdon gemmatum*.

再画上所有的真菌，每一种真菌用一个特别的符号表示。重要的是要能在图上表现出不同时期内，最好是整个调查时期内标准地上真菌的分布情况。当真菌出现的数量很少时，可以把若干次调查的结果用不同的颜色绘制在一张图上，但在真菌大量发育的时候，每一次的调查都应单独绘成一张平面图。绘制真菌平面图也可以只限于在5—10或是25平方米的面积上，而且也不是要求在每一次真菌调查时都进行，在一年内进行5—6次就行了（春季一次，夏季的6—7月一次，大量出现子实体时2—3次和秋末一次）。

在绘制真菌平面图时，必须注意在一系列年代内真菌子实体所组成的仙环及其它聚集体大小的变化和位置的移动。

样地上真菌种类度的统计，应当在真菌大量生长期间进行3—4次。每次调查10块一平方米的样方，它们应沿角和边设置在靠近样地边界处，在调查簿或调查表内用“+”符号表示在平方米调查样方内出现的每一真菌种类，这些小样方也可以用来调查每一个种或是某些有意义种类真菌的多度。为此，只要就地统计所有子实体的数量即可，但不要拔掉它们。

当统计整个生长期内所有子实体的重量时（也就是确定群落中真菌层片的生产率），应设置一个专门的面积为500平方米的样地，或是若干个面积总和为500平方米的样地。在这些样地上，每年齐地面切取真菌的所有个体。根据研究的目的和要求精度的不同，对某些最有意义的种类须要单独采集和称重，而其余的可以不按种而按属来归类（例如：把红菇属的所有种类都归在一起称重）。在阔叶林内混交少量的松树时，其下面有时长有很多的真菌，这时把某一株松树下生长的所有子实体分别采集和称重是具有很大意义的。当研究的精度要求不高时，也可以只把食用真菌的子实体收集在一起称重。重要的只是最后获得所有子实体的总重量。但也必须避免切取太年幼的（小的）子实体。在真菌大量生长的时期，最好在每10日的调查之间再进行产量的补充调查。

研究真菌时，最主要的困难是真菌种类的鉴定和标本的干燥。

为了使研究工作有完全的价值，必须从第一年开始就鉴定所有的种，为此，必须采集和记载所有出现的真菌，即使暂时是用符号或是编号代替也行。为标本室采集的真菌标本，无论如何都不能用小刀来切取，而是要非常仔细地来挖掘，为的是不把菌托或是菌柄的根状延长部分遗留在土内。

为了使多肉质的种类能够在以后得到专家或是调查者本人进一步的鉴定，每一个不认识的种都必须采集标本，并进行编号（在可能情况下，必须分别采集幼年的和成熟的标本）；此外，还必须注明它们的多度和记载它们在新鲜时候的主要特征。

每一个真菌标本上都应挂上一个带有编号的标签，这个号码必须和调查表内或是标本记载簿上记载该菌的编号相同。每一个标本在采集时就应用一个纸袋或用一张纸分别包起来，放在篮子内；只有坚硬的多孔菌才能放在背囊内携带。为了正确地鉴定干燥状态的真菌标本，必须知道标本新鲜状态的一些特征。没有这些特征，甚至最有经验的微生物学专家也往往不能确定它的种属。调查者对不认识的标本，可将其新鲜时的特征记载在该菌所挂的标签上，或者最好记载在专门的调查簿内。调查簿的每一页上应预先编号，并且有相同的上下两联。其特征的描述只记载在其中一联上，为的是以后在室内整理时，能把此联裁成同一格式的卡片，并按分类系统排列，或是附在标本之上。如果所采集的标本在当日不能进行记载时，则必须把它们收藏在地窖的阴凉处或是冰箱内。若在冷天则置于不生火的室内。

对于新鲜的标本，必须记载下列的特征：子实体的形状，而对于分枝状的种类如珊瑚菌 (*Clavaria*) 等还要记载珊瑚状子实体的高度和宽度、菌梗及其大小、分枝及其顶部的颜色。对于具有菌盖和菌柄的真菌还要分别记载其结实部分的菌盖（管孔或菌褶）和菌柄。对于菌盖必须注明：大小、形状、表面的颜色和特征〔胶质或水渍状透明的（也就是说，象吸饱了水一样并且稍微发干燥颜色就很快变浅的）、干燥的、片状的、絮状的、边缘和全部表面上具有菌幕的残留部分〕、菌盖的菌肉厚度、剖面的颜色及其在空气中的变

化。对于結实部分(子实层托)要指出：一般特点、管孔或菌褶的高度和宽度、顏色和連接在菌柄部位的特点(离生、連生、楔生或延生)。非常重要的是知道其孢子粉撒在白紙上时的顏色。

对于菌柄須要記載：着生的特点(中央着生、偏生或側生)，它的长度和直径(若是上下部不一般粗，则要分別注明各部分的粗細)，表面顏色和特征(絲状、鱗片状；具有环状的、蜘蛛网状的，或棉絮状的菌幕残留物，在上表面具有糠状的粉末层)。应特別注意菌柄基部的描述：菌托呈囊状或环状、具有简单的或是周緣的疣状突起物、下部变細、具有根状的延續部分。必須指出菌柄的菌肉顏色和它的特点(絲状、絮状、疏松、具小沟或是管状)。記載真菌的气味是非常必需的，因为它可能在干燥时很快地消失或是在潮湿时表現不出来。对于紅菇菌和乳菇菌属还必須記載其菌褶的味道(淡的、辣的、微辣)。对于乳菇菌属还要記載当其受损时由菌褶內流出的乳汁的顏色，以及它在空气中的变化。最后，还應該記載真菌的生长特点(单个、成簇、成覆瓦状群、行状、环状，并指出其大小)。

喜木质的真菌应按照它們所生长的树种編制名录表。对生长在活树树干上的种类須特別詳細地指出它們在树干上着生的高度和部位：生长在枝条折断的伤处和刀斧伤口上、在树干的基部和根部等。对于腐生的种类也要尽可能地記載它着生的树种，并指出真菌生长的地方(在枯立木上、伐椿上、倒木上或倒枝上)。

在烘制真菌标本时，应尽量保持标本的完整，但对最大的肉质标本可以沿着菌盖和菌柄的直径綫切成两半。干燥真菌标本时，最好用带边的金属网在厨灶或电炉上烘烤。在俄罗斯式的火炉上，象烤食用蘑菇一样，把铁絲网放在砖块上或炉盘上(烤盘)来烘烤也是非常好的。

用水彩顏色或是彩色鉛笔，以精确的色調来繪制真菌的彩色图，对标本的鑑定也能給予很大的帮助。

摄制真菌在自然状况下生长特点和其生长环境的照片以及摄制个别不同年龄——成熟和年幼的子实体的照片也是非常有益

的。这样的插图有时簡直是鑑定时不可替代的資料。

在样地上第一年所采集的真菌标本应在同年的室內工作时期进行鑑定，以便自第二年开始，儘可能对被研究样地上生长的真菌种数知道更多。

在草本群落中，特別是对占有面积不大的草本植物群落，所設置的固定調查面积可規定在 100 平方米以內。此外，还必須在若干个这样的样地上(不少于三个)进行主要的目測研究。真菌的定位研究，必須同时伴随土壤溫度和水分的研究。土壤溫度和水分的測定不是在固定样地范围之内，而是在紧靠着样地的外面进行，以便不破坏真菌盖被。

群落中真菌和真菌层片的路線調查方法

当进行路線調查时，群落中的真菌并不是經常能够被发现的。这不仅因为它们的子实体生命短促，而且真菌大量生长时期也并不是經常和高等植物的調查时期符合。但高等植物的調查通常只是在夏季进行一次，因此，在路線調查时，往往不可能編制各植物群落的真菌名录表，甚至連了解它们的特有種和优势種也有困难。研究真菌最好是在它们大量发育时进行，即使在不可能再次去該地段进行調查，也不可能編制真菌的完整名录表时，仍不應該拒絕去研究它们，而是必須尽可能的調查和采集所有的种类。

在真菌子实体大量发育时期，編制森林真菌名录表所需的面积应超过真菌层片的最小面积，即是不小于 400 平方米，有时甚至可达 0.25 公頃。

当研究草本植物群落时，由于其中真菌較少，所以編制某一个群丛的真菌名录表时，也不应只局限在 100 平方米的面积內，还必須記載样地以外的真菌，并且尽可能地在該群丛的若干个地段上进行調查。真菌层片的描述和調查可按上列的格式进行。

在真菌名录表內，对每一个种都要詳細地注明它所生长的基質的特点(在裸露的土壤上、在針叶上、在碎木块上、在枯枝落叶层

的叶上、在树皮块上、在球果上等)。尤其是对于大型肉质的可能形成菌根的真菌,必须记录它们是和哪一种树种相联系的,而且这里不仅需要考虑到乔木,也要考虑到灌木,甚至是新鲜的伐木。为了正确的确定这种联系,必须在若干个地方进行这种观察。对于每一种真菌都必须记载它们的生长特点(它的聚生度)和哈斯级的多度。

若是在调查时期发现有大量的真菌时,对整个真菌层片以及每个种也都应该指出它们的季相和哈斯级的多度(已列举如上)。为了对植物群丛的真菌区系能形成比较完整的概念,必须在该群丛的若干个地段上进行真菌调查。

在不同的植物群落中和在苏联的各个不同地区进行真菌的研究,特别是定位研究,必将能对植物群落的認識以及真菌的生态学提供非常珍贵的資料。

(郭秀珍譯)

参 考 文 献

Бондарцев А. С. 1953. Трутовые грибы Европейской части СССР и Кавказа. Изд. АН СССР, М.—Л.

Бондарцев А. С. и Р. А. Зингер. 1950. Руководство по сбору высших базидиальных грибов для научного их изучения. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. II, Споровые растения, вып. 6.

Ванин С. И. 1955. Лесная фитопатология. Изд. 4-е. Гослесбумиздат, М.—Л.

Васильева Л. Н. 1939. Грибы Кавказского заповедника. Уч. зап. Казанск. гос. унив., т. 99, вып. 1.

Васильева Л. Н. 1950. О шляпочных грибах Приморья и их значении в природе и хозяйстве края. Комаровские чтения. Дальневост. фил. АН СССР, вып. 2.

Васильков Б. П. 1938. Опыт изучения грибов при геоботанических исследованиях. Сов. ботаника, № 4—5.

Васильков Б. П. 1948. Съедобные и ядовитые грибы средней полосы Европейской части СССР. Изд. АН СССР, М.—Л.

Лебедева Л. А. 1937. Грибы. Госторгиздат, М.—Л.

Лебедева Л. А. 1949. Определитель шляпочных грибов (Agaricales). Сельхозгиз, М.—Л.

Определитель низших растений. Под ред. Л. И. Курсанова. Т. 3, 1954; т. 4, 1956. Изд. «Советская наука», М.

Частухин В. Я. 1945. Экологический анализ распада растительных остатков в еловых лесах. *Почвоведение*, № 2.

Частухин В. Я. 1948. Экологический анализ распада растительных остатков в молодых сосновых насаждениях. *Почвоведение*, № 2.

Частухин В. Я. и М. А. Николаевская. 1953. Исследования по разложению органических остатков под влиянием грибов и бактерий в дубравах, степях и полезащитных лесных полосах. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. II, Споровые растения, вып. 8.

Шенников А. П. 1927. Некоторые данные о флоре напочвенных грибов в различных ассоциациях. *Изв. Гл. ботан. сада*, т. 26, вып. 3.

Шенников А. П. 1943. О фитоценологических исследованиях шляпочных грибов. *Сов. ботаника*, № 2.

Ячевский А. А. 1913. Определитель грибов. Т. I. Совершенные грибы. СПб.

Ячевский А. А. 1922. О сортировании материала по грибной фитосоциологии. Матер. по микол. и фитопатол. России. т. IV.

Ячевский А. А. 1933. Основы микологии. Сельхозгиз, М.

Friedrich K. 1936. Zur Ökologie der höheren Pilze. *Ber. Dtsch. bot. Ges.*, Bd. 54, H. 6.

Friedrich K. 1937. Zur Ökologie der höheren Pilze. *Ber. Dtsch. bot. Ges.*, Bd. 55, H. 10.

Friedrich K. 1940. Untersuchungen zur Ökologie der höheren Pilze. *Pflanzenforschung*, Bd. 22.

Haas H. 1932. Die Bodenbewohnenden Grosspilze in den Waldformationen einiger Gebiete von Würtemberg. *Beih. Bot. Cbl.*, Bd. 50, H. 2.

Höfler K. 1937. Pilzsoziologie. *Ber. Dtsch. bot. Ges.*, Bd. 55, H. 10.

Kotlaba Fr. 1953. Ekologicke-sociologicka studie o mykoflore «Sobeslavskychblat». *Preslia*, Bd. 25, H. 4.

Lange M. 1948. The agarics of Maglemose. *Dansk. bot. Ark.*, Bd. 13, № 1.

Leischner-Siska E. 1939. Zur Soziologie und Ökologie der höheren Pilze. *Beih. bot. Cbl.*, Bd. 59, Abt. B, H. 2/3.

Melin E. 1948. Recent advances in the study of tree mycorrhiza. *Trans. Brit. Myc. Soc.*, vol. XXX.

Pilat A. 1951. Klič k určování násich hub hřibovitých a bedlovitých. Praha.

Urbizsy G. 1948. La végétation de champignons macroscopiques des sols forestières et le facteur. *Erdeszeti Kiserletek*, Bd. 48, H. 1—2.

Urbizsy G. 1956. Neuere Untersuchungen über die Zönologie Bodenbewohnender Grosspilze der Waldtypen. *Acta bot. Acad. sci. Hungaricae*, Bd. 2, H. 3—4.

植物群落中藻类的研究方法

М. М. 戈列爾巴赫(Голлербах)和 Л. М. 查烏耶尔(Зайер)

(苏联科学院植物研究所孢子植物組及国立列宁格勒大学)

引 言

在着手研究植物群落时，地植物学家應該首先了解清楚它的种类組成。这时，不仅要考慮到通常肉眼可見的高等植物，而且也要考慮到低等植物，其中也包括藻类在內，而这些低等植物往往只能根据間接的特征才能判断出它們的存在。只有这样地理解植物群落的区系組成才能保証对藻类进行真正的植物群落学的研究，才能避免不合理地、孤立地对待群落的分类，才有可能正确地确定藻类在植物群落結構中的地位。

藻类在植物群落生活中的作用还远沒有全部地被了解清楚，但无疑地應該承认，它的作用是多方面的。由于它生长在树干上，所以能降低雨水对树皮的浸湿性。当藻类生长在裸露的土质和岩石上时，则在其表面上創造了第一批有机物质貯藏，并用这种方式参与土壤的形成过程。

在植物群落生活中最有意义的，无疑地是土壤藻类。当它們进行光合作用时，就增加了土壤空气中的氧气。藻类分泌能使固氮細菌活跃起来酵母活素类型的刺激物质，和抑制其它微生物发育的抗生素。藻类大量形成的粘液不能不对土壤的物理性能有着影响，而在土壤表面形成的整个粘膜也必然会大大地降低土壤的通气性。此外，藻类也还是高等植物在矿物营养方面的競爭者，但是，当藻类死去后，它所吸收的盐分又重新回到土壤內；在輕松土壤上，它将阻碍土壤的淋溶速度。曾經有人进行过觀察，在同一

种土壤上，高等植物根际范围内的藻类要比在根际外的发育好。进行的统计表明，在中等良好的条件下，1克重的表层土壤内（在几厘米厚层内）包含有10—30万个藻类细胞，而在1公顷的土壤内，其同一时期的生物质量达40—500公斤生活物质。还有些研究指出，有着根藻¹⁾（альгориза）的存在。

因此，藻类和其它各类微生物是一样，它与高等植物有着非常密切的相互关系。这就证明，不能把藻类的植物群落学的作用看作是次要的，因此对藻类层片研究的仔细程度必须不次于植物群落的其它层片。

在陆生植物群落中主要是分布着土壤藻类和气生藻类，而水生藻类则非常少，后者通常只是植物群落偶然外来的居住者。

藻类能够进入到层间植被的组成内，或者作为土壤微生物区系层的一部分，组成特殊的层片。

属于层间植被组成的藻类是包括附生在处于该植物群落领域内的乔木、灌木、小灌木、树干上、苔藓的茎和叶上，在漂砾或是其它起源的矿物岩屑和岩块的表面上的藻类。在这样的生活方式下，藻类大部分都是利用硬的基质，在温带的植物群落中，藻类附生在乔灌木树叶上和附生在草本植物地上器官上的机会都是非常稀有的。

作为土壤微生物区系层的藻类主要分布在土壤表面上和接近土壤表面的各土层内。而在土壤的深层内（达2.8米深处）有时用培养法也发现有少量的和多种多样的藻类。

然而，无论是附生藻类，或是土壤藻类，在大多数情况下，它们都是微观生物。因此，在植物群落中，它们的存在并非经常用肉眼能够看见，甚至是在土壤表面和高等植物的各部分器官上非常仔细地观察往往也很难察觉到。在藻类生长的地方，只有用显微镜或是高倍放大镜来研究基质才能直接发现它们。仅有当藻类大量繁生而使基质在外表上变成绿色或是在基质上出现了一层绿色、

1) 根藻是指生长在植物根上的藻类。——译者注

藍綠色或是棕褐色粉末或斑點時，才能用肉眼察覺到它們的存在。但是，即使在這樣的情況下，要想精確地確定它們的種類組成，仍必須利用顯微鏡。

在目前，我們的光學工業已生產了各種各樣工作起來非常方便的“袖珍”顯微鏡(МДК-2)，其放大倍數達150倍，以及專門的旅途顯微鏡(МИБ-3)，它是裝在一個體積很小的匣子裡，在旅途中攜帶非常方便，也不笨重。這些旅途顯微鏡的光學質量，與實驗室內所用的普通顯微鏡相比較，是沒有絲毫的差別。

然而，在野外地植物研究的實踐中，並不是經常都有可能利用顯微鏡。此外，為了精確鑑定藻類的種類組成，還須要具備一些適當的文獻。因此，所有顯微鏡觀察工作一般都是在室內工作時期進行。這是完全正確的。而且經驗證明，在室內鑑定藻類植物標本和在野外在它們所生長的植物群落內就地直接鑑定生活狀態下的藻類，是有着同樣的效果。而且，在個別的情況下，在實驗室環境中來鑑定它們的種類組成，甚至還可能進行得更全面些，尤其是考慮到在這裡有可能利用某些間接的方法，關於這些將在後面詳述。

然而也必須指出，只有當野外材料收集得非常詳細，同時用規定的方法保藏和運輸，使之不受損壞，並且精確地用標簽編號以後，才有可能根據野外材料的室內整理結果，對被研究的植物群落結構中藻類的參加情況形成完整的概念。

藻類的采集方法

把藻類作為植物群落的成分來研究，開始得還是比較遲。因此完全可以理解，其研究方法必然還制訂得很不夠。然而，如果今后在這方面不進行進一步的實際工作，要想改善植物群落中藻類的研究方法是不可能的。

藻類的采集方法多半是取決於它們所生長的基質的特點。

生長在樹幹上的藻類必須連同樹皮一塊采集，為此，可用鋒利的小刀挖下一個面積約為5—10平方厘米的樹皮表層，或者是一

块較小的树皮,但必須严格注意,被挖下的树皮块在脱离树干以后不致变成碎片。为了避免这种現象,應該把刀子切入树皮內更深一些,以便增加被挖的那块树皮的厚度。若是必須从很細的树枝或茎上采集藻类时,則可从其上截取一段小块标本,并力求使覆盖着藻类的外层表面不受到任何的损坏。

生长在裸露岩石或岩石碎块表面上的藻类也最好連同它們所附着的石块一同采集。为此,可以利用地质鎚。但是,即使是具有地质鎚也絕不是經常有可能从大的岩石上准确地敲下所需的那小块石头。在这种情况下,可用刀子、鎚子或是任何种金属片从石块表面把藻类刮下来,这些工具的边缘,并不一定要磨銳。然而,用工具刮必然会破坏藻类在石块表面的分布全貌,甚至会损坏了它們的叶状体,这更非我們所希望的。这些情况在以后鑑定藻类的种时必須考慮到。

当采集生长在苔蘚植物上的藻类时,必須考慮到,只有在很少的情况下它們才在这里形成很明显的肉眼可見的繁茂集群。通常,只有在死去的苔蘚上,例如,在轉入退化阶段的沼泽地內,才能看到明显可見的藻类粉霜层。所以,往往在苔蘚上确定藻类的存在只能直接用显微鏡觀察的方法或者是用只有在实验室条件下才能采用的間接方法来确定。因此,为了分析藻类的存在,往往只好盲目地采集苔蘚。在这时候,最好注意以下各点: 大型的苔蘚,如 *Polytrichum commune* 类型以及某些泥炭蘚、藻类多半生长在它們的下部,而低矮的和匍匐的苔蘚就沒有这种差別。目前只在沼泽群落內发现生长在真蘚和泥炭蘚生草丛上的藻类区系組成有所差异,但在森林群落內,这种差异还没有发现。在由于形态和生理特性而持水能力較好的苔蘚小生草丛上,所生长的藻类种数量就較多一些。有时藻类也生长在泥炭蘚的透明細胞內部。

在采集苔蘚时应特別注意,不要把小生草丛的下部以及土粒、泥炭或死地被物等一同采来,因为它們对于生长在其中的藻类來說是另一种性质的基质,因此應該单独地来研究。

当用肉眼能确定在土壤表面上有土壤藻类存在时(如明显的

粉霜层，膜和粘片等），應該把它们所生长的土壤表层一同采集。采集土壤表层可用刀子或是其它种不弯曲的金属工具。做这项工作需要特别认真，力求不损坏复盖着藻类的标本表面，并使这薄层土壤保持着自己的完整性，不遭破碎。这种标本的大小可能很不相同，它直接依赖于藻类粉霜层的组成均一性和紧密性。若是藻类在土壤表面愈不扩散分布和其上藻类的组成愈是均一（这可根据外部的特征来近似的判断，当有显微镜时，用它来检查个别地段的土壤表面则更为精确），则所采集的标本可以愈小。通常这样标本的厚度不超过1厘米，面积约5—10平方厘米。

然而，若是藻类在土壤表面占据的面积很大，例如大到若干平方米时，那么不能只从这样的面积上采取单独的一个完整的标本是不可能的。对于这样大片的藻类即使仅为了确定它们的区系组成，也必须在这块地面的不同地方采取若干个，有时甚至是很多的标本。采取标本的地点可以根据藻类盖被的外部特征（例如：按其色泽、紧密度和结构的变化）以及根据生境条件：小地形、光照、湿度等的详细研究来选定。在这时所采集的藻类标本，最好就地在显微镜下检查。

当藻类地面盖被所占的面积已不是几平方米，而是若干平方公里时，则研究它们就要困难得多。在这样地区的群落组成内，甚至可能完全没有高等植物存在，而藻类是这里占绝对优势的群落成分（ценобионт）。例如中亚细亚粘土荒漠上大面积的龟裂土就是这样的例子。在这样的地区进行地植物工作就非常复杂了，因为这里的植被都是由微观的生物所组成，它们的存在，甚至数量很多时，都并非经常为肉眼观察所能确定，它们的原植体经常和土粒胶结成坚硬的土壳（例如在干枯时期龟裂土上），从它的表面并不能判断出其组成中有无藻类的存在。

对这样的地区可用剖面法来研究藻类。剖面的设置应考虑到地形，不管地形表现的程度是如何微弱，甚至是潜蚀过程的结果所形成的小块凹地也都应该考虑到，更不用说是大块的碟形地了，它们对藻类的分布必然会有着重大的影响。剖面最好设置若干个，

在这种情况下，其間的距离可根据調查的詳細程度而确定。調查的詳細程度也决定着同一剖面上取样点間的距离。每一个样品應該是面积不大約 5—10 平方厘米的一块土壳表面或土壤表层。采取样品的厚度要看藻类伸入土层的深度而定，有时能达 2—5 厘米。当藻类的原殖体伸入到土內較深层时，若只从土壤表层采集样品，则将人为地引起藻类层片的破坏。在采集每一个样品时都必須詳細地記載采集地点，注意地表的一般情况、湿润程度、土壤机械組成及其龟裂性等等。

生长在地表以下土层內的土壤藻类很少能形成肉眼可見的繁茂集群。目前只知道在某些半荒漠的沙地上，以及在河漫滩近河床部分的沙地上，藻类才能在土壤表面下的某种深处形成明显可見的“綠色层”。而在一般的情况下，只有用显微鏡检查土壤的样品时，才能发现在表层下的土壤內有藻类的存在。并且显微鏡检查最好是在采集的現場，当土样还没有干时就进行。因为土样变干在运输时是难以避免的。然而，用土样直接制备的显微鏡标本玻片，由于往往带有大的土粒，所以在高倍显微鏡下很难觀察，而且也不能提供关于土壤中所包含的藻类类型的全部多样性的概念。其中特別困难的是鑑定藻类到种，这需要觀察它微小的結構和細胞的大小。因此，在野外研究生长在土壤深处的藻类，通常只是限于采集土样，以便以后用实验室方法来研究。

然而，必須記住，实验室研究結果的可靠性和精确性在很大程度上是取决于野外工作中选取土样方法的正确与否。

保証研究結果可靠性的首先和必要的条件是采取土样时遵守消毒規則，其次，(这也是很重要的条件)就是在采取土样时应完全避免在取样的层次內无意地混杂其它层次的土粒。

当研究土壤藻类时(无论表层的或是深层的藻类)，地植物学家最好与土壤学家紧密地配合工作。因为所有的土壤藻类研究工作，只有当它伴随着尽可能全面的土壤研究时，才能获得最大的价值。当进行很大区域的調查时，首先須要研究土壤，只有根据这种研究資料才能确定采取供作藻类分析土样的地点。当采取样品

时,最好利用土壤学家所挖的土坑。若是地植物学家单独工作时,則可以利用記載植物群落时所挖的土坑(即使土坑不大也可)来采取土样。土坑的深度取决于研究的詳細程度。

采取土样时,最好不要沿土壤剖面按某一定的距离机械地往深处进行,而是要按照記載土壤时所划分的发生层次进行采集。同时,因为土壤层次都有一定的厚度,所以最好在各个取样点之間多少保持相等的間距。

在采取土样之前,首先选择土坑內太阳照射不到的一个阴向面(这可預防其很快的干燥),用土鍥把它鏟平,然后用地植物学家挖取植物标本时所用的小鏟或小刀再細致地修整土壤剖面。为了避免在土壤的各深层內混杂不属該层所固有的藻类的繁殖体,以后的各道工序必須用消毒工具来进行。这种工具可以是小鏟、刀子和金属的勺子等。工具的消毒可以在出发去野外之前預先进行,也可以直接在工作現場进行,然而,对地植物学家來說,使用的工具在實驗室內預先进行消毒在很多方面都是不方便的,尤其是当野外工作計劃采集大量的土样时,更是如此。因为每一个消毒工具用来采取土样时,只能使用一次,那么必然需要随身携带大量的这种工具才行。这样一定会造成多余的浪费,也增加了旅行装备的重量和体积。所有这些缺点,若是直接在取样的現場进行消毒就可以避免。在这种情况下,只需要补充携带一罐 300—500 毫升封装良好的 96° 酒精(或是变性酒精)及火柴就行了。当要出发到較远的地区进行长期的工作时,則还須要再携带另一罐同样数量的酒精做后备。

在上述的工具中,对于采取土样最方便的是普通的(不弯的)湯匙。在野外工作現場进行消毒时,总共只要具备三把湯匙就够了。

湯匙的消毒和土样的采取是这样进行的:在工作开始之前,把湯匙放在酒精內。使用时,把它从酒精罐內取出,再将其表面的酒精点燃。当酒精完全烧尽以后,匙子就可以备用用了。

第一把湯匙是用来剷刮土层(打算取样的层次)的外表。第二把湯匙用来在被研究的层中深挖 8—10 厘米深的水平深洞,第三

把湯匙是用来从这个深洞內挖取土样,同时,只利用此洞的后壁和上壁采取。此后,用擦布、苔蘚或树叶等把湯匙表面上附着的土粒擦去,再把它們重新放入酒精內。这三把湯匙就是这样用来采取所有其余的土样。

另一种比較方便的土样采集工具是金属(鋼制的)的钻筒,它的一头必須磨銳。用这样的钻筒钻到土层內,然后把它連同内部所含的土块一起抽出来。土块必須从钻筒內取出,但是,为了避免从外面掺杂其它藻类繁殖体,作为土样的是采用其中間的部分,而两端的(外端和里端)土块都必須抛弃掉。

钻筒的消毒方法和湯匙的消毒相同。

考慮到,有时还必須从較薄的土层內采取土样,所以钻筒的直径不应很大(不大于3厘米)。

采取土样时必須先从剖面的最深层开始,然后逐漸依次向土壤表面采集。这样的順序性是必須的,因为自上层向下采取土样时,上层土粒必然要掉落下来混杂下层的土样。

每一个土样必須采集的数量,多半是根据研究任务而定。然而,不同层次或是不同剖面上所采取的土样完全不一定需要具有某种一定的体积或重量。若是研究的任务只是在于了解藻类的种类組成,則每一样品只要含有10—15立方厘米的土壤就足够了(約一湯匙或是半火柴盒的容量)。若是除了进行藻类的分析以外,还打算进行土壤的化学分析和酸碱度測定时,則土样的容积應該大20—30倍。

用作化学分析的土样,当有条件单独保藏时,可以不遵照消毒規則来采取。

作为藻类标本的包装材料,不管采取藻类时带有的基质如何,最好都用非常坚固而不粘結的紙(如牛皮紙类)。用这种紙做成紙袋,在出发到野外工作之前,在恒溫箱內消毒。在紙袋內可以装带有藻类粉霜层的树皮块、苔蘚的小生草丛、泥炭块、森林枯枝落叶、土样、甚至于小的不太重的石块。紙袋在装了标本以后,立即紧密地封閉起来。

在封閉的紙袋內，使標本達到風干狀態，這樣的標本可以保藏很長的時間而對實驗室的研究效果不會有嚴重的影響。在實驗室工作開始之前，紙袋無論如何都不應打開。

當標本需要經過遠距離運輸時，最好是在它們陰干以後，裝在木箱或是厚紙盒內。標本裝箱時必須注意，把各紙袋互相塞緊，以免它們在箱內自由搖動而互相摩擦。若對紙袋的堅固性有所懷疑時，每一個紙袋建議再用專門的紙張單獨包卷起來。

當需要保持藻類層的完整性而也需要保持它所着生的基質的完整性時，每一個標本就應單獨裝在一個盒內，並預先在盒底上墊上一層棉花，再在其上鋪一層紙。

形成大量的單純繁茂集群的藻類（包括生長在水內的藻類），以及易與基質分離的藻類，最好放在4%的福爾馬林溶液內，用玻璃試管裝起來，管內的溶液最好不要超過半管。這樣的保藏方法大大地減輕了以後的藻類鑑定工作。用帶蓋子的玻璃或是金屬器皿保存藻類標本而不使用加封液体的話，是不好的。只有在極個別的情況下，才可以把標本放在玻璃和金屬器皿內，但必須是完全乾燥才行。即使是很潮濕的標本若用不透氣和不透水的材料包裝，甚至是短時的保藏，也可能引起嫌氣微生物的發育和加強它們的活動，這必然會使標本的化學性質、或是它在自然狀況下所固有的藻類區系組成，都發生非常重要的次生變化。

藻類標本的標記載方法和通常採集蜡葉標本時的方法是一樣的。但是，由於在標簽上又需記載微生物的生境，因此，必須注意，在記載中應尽可能比較準確地反映藻類基質所着生的具體地段（往往它是非常小的）所特有的生態條件。

藻類標本的整理和研究方法

研究質的組成

當藻類大量地包含在它們所着生的基質樣品中的時候，以及

當它們在采集時就被裝置在某種保存液體中的時候，則在研究它們的種類組成可以藉助於取出少量樣品直接在顯微鏡下進行觀察。然而，往往由於標本中所包含的藻類數量很少，所以利用直接的顯微鏡檢查，並非經常可能。因此，在室內處理藻類標本時，普遍地採用培養法。

當培養藻類時，有關器皿、營養液、水和工具的消毒等方面都採取一般通用的微生物技術方法。主要的要求是在培養過程中對該標本內所有的藻類或是大多數種藻類創造有利的條件。由於作為進行光合營養的有機體的藻類的生理特點，它不需要有機的養料（只有對某些種類有機物質的存在還是有利的），所以培養它們時，或是直接培養在它們的界原有的那種基質上，或是用專門備製的營養介質，但都必須在光照射下進行。在秋冬季節，還必須用高數的電燈（300—500瓦）給予補充的光。

對於土壤中藻類的培養，可以建議採用下列一些方法¹⁾。

土壤培養法 在柯赫培養皿或普通培養皿中放入一小塊在野外所採集的土樣，最好是完整狀態的。把土壤用消過毒的蒸餾水或自來水中度潤濕，在光照射下使培養物在2—4個月內都保持著經常的濕潤狀態。於是在土壤表面和內部，在培養皿的壁上和蓋上都繁生著藻類。將它們取出以製備普通的顯微鏡標本玻片。這個方法的缺點是在製做顯微鏡標本玻片時有些困難，因為很難把其中的土粒都去除乾淨，因而妨礙高倍鏡頭觀察的效果。

土壤蓋玻片培養法 把需要研究的土壤以均勻的一層置於柯赫培養皿或是普通培養皿內，並用蒸餾水或是自來水潤濕到完全飽和狀態，在土壤表面上放若干個預先在酒精燈上經過消毒的蓋玻片。用鑷子或是玻璃棒輕輕地把玻片向土壤壓緊。這時必須遵照下列的條件：1)土壤表面不能壓緊和壓平，它必須具有微小的

1) 必須考慮到，在下述所有的培養，尤其是土壤培養中，除了藻類以外，苔蘚原絲體也將從存在於土壤內的孢子中很好地發育起來。苔蘚原絲體的外形近似於絲狀綠藻，但是根據它小粒狀的葉綠體細胞間的斜壁和往往帶棕色的細胞壁很容易識別出來。

起伏；2)不能把盖玻片的整个表面都压到与土壤完全接触的程度——在土壤和玻片之間，由于土壤表面的起伏不平，就应保持着小的空隙；3)土壤不应潤湿到这种程度，以致使盖玻片都漂浮了起来或是埋在水內。盖玻片下的小空隙成为小型的保湿器，在这里面，尤其是在玻片內表面的水滴中，土壤內的藻类就大量地发育起来。

过2—3周，在經過試驗后，就可以开始觀察培养物。为此，用镊子从土壤內取出任何一个玻片，将其下表面放在載玻片的水滴上。若当玻片上粘有大的土粒时，应預先将它們小心地除去。在同一个培养中，沒有必要同时觀察很多的玻片，因为其中藻类的組成几乎沒有区别；最好每隔一周或一周半觀察一次，以便觀察各种藻类的順序演替。在培养土壤藻类时，不是所有的种类都同时发育起来，首先发育的是綠藻类，其次是蓝綠藻类和硅藻类。通常，为了足够完全地确定其种类組成，需要2—3个月。这个方法的很大优点是不游动的单細胞藻类和絲状藻类分別被限定在玻片的一个地点上而不是混合在一起，这就使得在研究它們一切形态时，要容易得多。

在潤湿土壤时，若不用蒸餾水或自来水而用某种培养液(配方見下)，則获得的結果还要更好些。

土壤滤紙培养法 这种培养法与前者类似，不过土壤湿润得更利害些，并用消毒的玻璃刮鏟把土壤表面刮平，然后用一块薄的滤紙盖上。在良好的光线下，藻类通过滤紙的孔隙生长到外面来。滤紙最好用細針刺穿很多小孔。在整个培养时期內，必須注意使培养物不要干燥，經2—3个月后，藻类通常都很好地生长在滤紙上。然后用解剖針从滤紙各个部分取下藻类的斑点，制成显微鏡标本制片。这种方法通常用来了解藻类区系是不完全的，因为通过滤紙能很好生长起来的多半是蓝綠藻类，而綠藻和硅藻类則生长差得多。方法优点在于生长起来的藻类有可能保藏起来。为此，只要把滤紙块取下，置于具有4%的福尔馬林溶液的小瓶內或是进行干燥即可。

矿物营养液培养法 当制备培养藻类的矿物营养液时，通常都用經過两次蒸餾的蒸餾水，因为在普通蒸餾釜內蒸餾出来的水都含有微量的銅，这对藻类是有毒的。第二次的蒸餾只能利用玻璃器皿和玻璃冷凝器进行。目前已制定有很多适用于各种藻类的营养液配方，但对于土壤藻类，較常用的是下列配方：

布里斯多尔液 (戈列尔巴赫配方 的修改)		別蟲凱培养液	
	1000毫升	水	1000毫升
水	1000毫升	NH_4NO_3	0.2克
NaNO_3	0.25克	CaCl_2	0.1克
KH_2PO_4	0.25克	K_2HPO_4	0.1克
MgSO_4	0.15克	MgSO_4	0.1克
CaCl_2	0.05克	Fe_2Cl_6	微量
NaCl	0.05克		
Fe_2Cl_6	微量 ¹⁾		

所有盐类的純度都应很高，若是被研究的土壤的 pH 值已知时，则营养溶液最好也用碳酸氢鈉溶液或是弱的化学純的无机酸配制成同样的 pH (根据需要而配制碱性的或酸性的溶液)。配制好的溶液倒于烧瓶內，每个容量 100—150 毫升的烧瓶装 50—80 毫升的溶液。最好是利用維諾格拉斯基或是克列斯林格烧瓶，其他种器皿也可以。烧瓶用棉花塞好，消毒采用通常的方法。

用金属小匙取一点土壤进行播种，小匙預先在酒精灯上消毒。土壤应不少于 1 克，然后，把它均匀地在烧瓶底上鋪成不很薄的一层。播种采用新鮮土样或是风干土样均可。培养最好采取 2—3 次重复。播种后，瓶塞用蜡紙包扎起来以减少蒸发。

培养物在光照下擱置 2—3 周后，藻类的发育一般就非常明显了。培养物的全部成熟需 2—4 个月。藻类的觀察最好随着其发育程度在整个营养期間进行若干次，为此，用在火焰上烧过的白金兜环从烧瓶底和壁上，以及从溶液的表面和内部各取出一小层或小块样品置于載玻片上。同时遵守一切普通的消毒方法。

1) “微量”是指在 1000 毫升的水中含 3 滴 1 % 的該盐溶液。

土壤浸出液培养法 土壤浸出液是由 1 分风干土和 3 分蒸餾水振蕩 3 分钟, 或是用 4 分蒸餾水和 1 分土壤 振蕩 5 分钟。然后連土过滤配制而成。第一次渾浊的滤液再倒回过滤。所有其余的操作都和前述的一样。在水液培养的各种方法中, 这样的培养法被认为是最符合于自然条件的, 其中所发育的藻类种的綜合体, 最接近于該土壤中藻类种的实际对比关系。

土壤-矿物溶液培养法 在用上法所制成的土壤浸出液內, 在每 1000 毫升中各加 0.25 克的某种硝酸盐和磷酸鉀。在含有这样丰富营养的土壤浸出液內, 土壤綠藻类发育得特別好。

在研究藻类时, 广泛的采用 A. H. 达尼洛夫所配制的溶液作为这种类型的标准培养液, 这种溶液是从良好而干燥的果园土壤(所謂頁状土)浸制而成。溶液的配方如下:

土壤浸出液	250 毫升
水	750 毫升
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.2 克
K_2HPO_4	0.2 克

对于培养生长在苔蘚上的藻类, 所有上述的土壤藻类培养方法都适用。預先把苔蘚用消了毒的剪刀剪碎, 然后播种到培养器皿內。

生长在树皮、石块、泥炭土等上面的藻类, 若当它們大量生长时, 則可以不經過培养来鑑定。为此, 只要用刀子刮下一部分藻类粉霜层, 并用其制成显微鏡标本制片。若是藻类沒有形成肉眼可見的层斑, 或是当它們发育很弱时, 可以用一小块这样的基质放在培养皿或柯赫培养皿內, 在其中加入少許蒸餾水或是过滤的自来水, 然后放置于光照下。这时, 培养皿中的水位 不应超过 1—2 毫米, 而藻类无论如何都不应沉浸水中。在适当的条件下, 經过 1—2 周从这种培养物中, 就可以获得鑑定用的藻类标本。

數量統計

关于土壤藻类的数量統計目前研究得还很差。現有的一切方法仅在于統計一克土壤內所含有藻类細胞的数量。若是对每一种的細胞数量都单独进行統計，那么工作就太繁重，它需要播种大量的培养悬浮液，因此，最普遍采用的几种方法都是在显微鏡下直接統計細胞总数。下面介紹其中的两种方法。这些方法的主要缺点：1)工作量极大；2)不可能分种进行計數；从細胞上至多能区别出最主要的藻类类型；3)对細胞很小的多細胞类型和群体类型只能統計近似数。

进行細胞計數时最简单的是利用計數板，它是用一块有机玻璃薄片，按最大的盖玻片面积所及的范围，用刀尖在其上刻以許多細密的平行綫紋而制成。

土壤秤量直接計數法 把遵守消毒規則所采集到的少量新鮮土样攤到风干状态，粉碎，然后攪拌。从这些土样中秤出5毫克土，放在計數板上滲和以少量的水滴。把大的土粒除去。在水滴上盖以盖玻片(但水不应溢出盖玻片以外)，整个地放在显微鏡下用較高倍数(40倍物鏡)的镜头进行检查。把所有觀察到的細胞都加以統計。觀察和計數是沿着計數板上所刻的条紋自上到下从盖玻片的一端依次向另一端順序进行。当第一行觀察完毕以后再順次觀察相邻的另一行，依此类推。为了移动方便起見，應該利用具有活动載物台的显微鏡(能纵横移动的載物台)。統計出的数字乘以200，即得出1克土壤內的数量。通常都是采用三次秤量的平均数。

經 E. A. 什金娜修改的 C. H. 維諾格拉德斯基的方法 从原始的标本內秤出1克土壤放在4毫升蒸餾水內振蕩2—3分钟，悬浮液沉淀半分钟，然后倒入离心試管內。如此再重复两次，在沉淀物內加3毫升的水，并和悬浊液一同倒出，最后把沉淀物弃去。而悬浊液分成大約相等的三份，然后在每秒钟500轉的离心机上轉

动 1 分钟或是用手动离心机轉动 2 分钟。这时，把悬浊液弃去而保留沉淀物。每一份沉淀物，根据所需悬浮液的浓度不同加蒸餾水到一定的容量(加到 10—40 毫升)，以后就可分別进行研究。在仔細地振蕩了沉淀物之后，用吸管取出 1 毫升的悬浮液，一滴一滴放出，数它有多少滴数，然后取其中的一滴放置于計数板上。在这情况下，藻类細胞并不是在整个水滴中都可以在显微鏡視野內數到，而一次仅能数到 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{4}$ 或 $\frac{1}{5}$ 的部分，也就是說，每一次只能数到 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{4}$ 或 $\frac{1}{5}$ 的計数板的格子(这要看盖玻片下可以容下几个格子而定)。把数得的細胞数乘以一定的系数，即得出該悬浮液內細胞的数量。此系数是由水滴分數的分母乘以 1 毫升悬浮液的水滴数，再乘以悬浮液的总容量(毫升数)即得。(例如只在 $\frac{1}{5}$ 滴水內，計数了藻类的細胞，1 毫升悬浮液有 24 滴、悬浮液总容量为 20 毫升，则此系数为 $5 \times 24 \times 20 = 2,400$)。所有三組悬浮液內統計的数字合計起来，就是一克土壤內的細胞数量。觀察整个标本需要 3—5 小时。若是沒有可能立即处理新采集的土壤时，则可把上述 1 克秤量的风干土壤固定在 4 % 的福尔馬林溶液內，在密閉的器皿中保藏到需用时为止。

在显微鏡下觀察悬浮液时，主要的困难是在显微鏡視野內不易区别藻类細胞和土粒以及真菌孢子。若是能用螢光显微鏡来进行觀察，那么問題就容易得多了，因为在紫外光线下含叶綠素的活細胞呈現紅光，但用福尔馬林固定后的标本則是例外，因为福尔馬林的固定液使叶綠素的螢光性消失，此外，应用螢光显微鏡也仅只能統計藻类細胞的总数，而不能够区别它們在分类上属于哪一系統群。

(郭秀珍譯，梁家驥、陈昌篤校)

參 考 文 獻¹⁾

Визначник прісноводних водоростей УРСР, вип. II, IV, V. 1938—1953.

1) 上述参考文献名录中仅包括涉及藻类的研究方法或是整个叙述藻类研究方法的主要著作，以及藻类的鑑定，但是，不是所有的鑑定文献都能帮助我們鑑定到种。

Вид. АН УРСР, Київ.

Воронихин Н. Н. и Е. В. Шляпина. 1949. Водоросли. В кн.: Жизнь пресных вод, т. II. Изд. АН СССР, М.—Л.

Голлербах М. М. 1936. К вопросу о составе и распространении водорослей в почве. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. II, Споровые растения, вып. 3.

Еленкин А. А. Синезеленые водоросли СССР, (в трех книгах). 1936—1949. Изд. АН СССР, М.—Л.

Зауер Л. М. 1956. К познанию водорослей растительных ассоциаций Ленинградской области. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. II, Споровые растения, вып. 10.

Косинская Е. К. 1952. Мезотениевые и гонатозиговые водоросли. Флора споров. растений СССР, т. II. Изд. АН СССР, М.—Л.

Определитель низших растений, вып. 1 и 2. 1953. Под. ред. Л. И. Курсанова. Изд. «Советская наука», М.

Определитель пресноводных водорослей СССР, вып. 1—4, 6, 7. 1951—1955. Под ред. М. М. Голлербаха, В. И. Полянского и В. П. Савича. Изд. «Советская наука», М; то же, вып. 8. 1959. Изд. АН СССР, М.—Л.

Ролл Я. В. 1939. Пресноводные водоросли СССР, сем. *Oedogoniaceae*. Изд. Киевск. гос. унив., Киев.

Топачевський О. В. і М. Ф. Макаревич. 1955. Короткий визначник прісноводних водоростей УРСР. Вид. «Радянська школа», Київ.

Флора водорослей континентальных водоемов европейского севера СССР. 1951. Тр. Ботан. инст. АН СССР, сер. II, Споровые растения, вып. 7.

Штина Э. А. 1956. О методе количественного учета почвенных водорослей. Ботан. журн., т. 41, № 9.

土壤微生物区系的研究方法

T. B. 阿里斯托夫斯卡娅(Аристовская)

(苏联科学院土壤博物馆)

引言

按照 B.H. 苏卡乔夫(Сукачев)的观点, 土壤微生物的研究应该看成是地植物研究总系统的组成部分。

微生物层片在某种条件下所形成的特性, 首先取决于该区域的气候、土壤类型及植被的特性。由于落入土壤内植物残体的化学组成不同, 其中发育的优势微生物也就不同。当然, 人为的干涉——例如整地及施用不同的肥料——也能够根本地改变土壤微生物过程的强度和土壤微生物区系的组成。

土壤微生物区系一方面是在上述各种因素的影响下形成的, 另一方面它同样也决定着土壤形成过程的方向, 并且在很大程度上决定着某些高等植物和动物种类在该具体条件下的优势发育。

在土壤微生物和高等植物之间, 存在着一定的、有时是非常复杂的相互关系。我们暂把根瘤细菌和菌根真菌等类型的微生物与植物的相互关系搁置一边不谈, 因为这已超出我们任务之外, 现仅简短的谈谈高等植物和营独立生活的微生物区系间的关系。

土壤微生物在利用植物根的分泌物, 把死植物组织矿物质化的时候, 在解除了存在于根部周围土壤内的代谢产物(植物可能因自己的这些代谢产物的积累而引起中毒), 它一方面对植物起着特殊的卫生作用, 另一方面, 它给植物不断提供必需的无机和部分有机营养物质。

但是, 微生物并非经常给植物带来好处。在某些情况下, 例

如，在土壤中，当灰分物质或氮素不足的时候，在植物和土壤微植物区系間可能形成競爭的相互关系。某些微生物有时能与植物形成寄生关系，它們发育在植物活的組織上，并破坏它們。

在土壤中，甚至在同一个土层內，微生物的分布也是不均匀的，而在根际范围内形成最繁盛发育的中心。同时，不同的植物具有一定种类組成及生理特性的近根微植物区系。这些微植物区系的特性是取决于植物組織及根分泌物的化学組成。按 E.Ф. 別列佐娃 (Березова, 1948) 的材料，接近禾本科植物的根部，多半是发育着要求蛋白朢及硝酸盐氮素的微生物，在豆科植物的根际部分，以要求氨基酸的微植物区系和生活于无氮介质的微生物占优势。在亚麻近根区中，生存着利用铵盐的微生物。因此，植物的根在自己的四周，选育了一定的微植物区系。随着植物不同的发育阶段，在它的根际中，微植物区系优势种的組成也是經常改变着的。

由于植物是生长在大量各种微生物的环境內，所以在它們之間有着紧密的联系。不存在置身于这些联系之外的情况。

由于土壤微植物区系是植物群落整体的組成部分，因此脱离了这个整体来研究土壤微植物区系是不可能的，正如若不研究这个整体的組成成分，以及了解它們之間所存在着的联系，这个整体也是不可能被全面了解的。

土壤微生物学家，如沙帕 (Sappa, 1956) 和米洛塞維克 (Milosevic, 1956等) 試圖把土壤微生物当作是植物群落的組成部分，并研究植被从初期演替阶段过渡到以后各阶段中，土壤微植物区系組成的变化。目前这些工作为数还不多，但是必須认为，它們将逐漸在科学領域中占有巩固的地位，并必定成为土壤-地植物学研究的不可分割的部分。

微生物工作的技术特点

微生物的研究，要求工作人員具有一定的技术，并只能在专门为此而設置的實驗室內进行。絕不允許在同一實驗室內既进行土

壤-化学分析，又同时进行微生物分析。

在建立实验室时，应该考虑到有一个单独的房间用来洗涤消毒的器皿和消毒。

每个微生物实验室必须具备：消毒培养基用的消毒锅、消毒器皿用的干燥箱、恒温箱、一架或数架显微镜（带有油镜头的）、显微镜照明灯，若干个手持放大镜、培养细菌用的器皿（培养皿、试管、不同大小的烧瓶、吸管、玻璃刮铲、载玻片和盖玻片）、反应试剂、试管架、消毒吸管用的金属筒、白金环及酒精灯等等。

试验室设备名录详见B. Л. 奥梅梁斯基(Омелянский, 1940)以及Г. Л. 谢里别尔(Селибера)、Р. С. 卡兹涅尔松(Кацнельсон)、И. С. 斯卡隆(Скалон)和Г. А. 卡坦斯基(Катанский, 1953)等所著的书中。

在这里虽然不可能向读者较详细地介绍微生物技术的特点，有兴趣的读者可参阅上述的这些参考文献，但是我们仍然认为有必要简短地叙述一下微生物工作的主要研究方法。

微生物研究工作最重要的准备阶段是培养基、器皿和工具的消毒。

播种时，所用的白金环，在工作过程中都必须在酒精灯火焰上消毒。磁的研钵可以用酒精擦干净，并在使用之前直接用火烧一下。

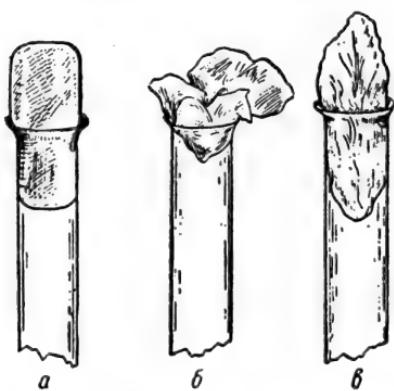


图 1 正确的棉花塞(a)和不正确的棉花塞(b, c)

玻璃器皿（培养皿，试管，吸管等）用纸包好后，在烘箱内以150—170°C的干热消毒1—2小时。试管消毒之前，用普通棉花紧紧地搓成长约4厘米的圆柱形棉花塞塞好（图1）。当棉花塞从试管内抽出时，不应改变自己的形状。吸管的上端也应用细铁丝或迴形针的一端塞进

一块長約 2—3 厘米的棉花。把若干个吸管放在紙上，細的一端放在一头，用紙仔細包好，并用細绳捆起来。对于吸管的消毒和保存最好是利用金属筒。在把吸管放入金属筒内之前，应把每一根吸管的細的一端用棉花包好。

需要消毒的物品应在烘箱的电門打开之前，就放进去。否则，玻璃仪器一接触到热空气时可能破裂。同样，当消毒完毕之后，烘箱門不要立即打开，而須等它冷却之后才可打开。

培养基可在消毒鍋中用間歇蒸汽或高压蒸汽消毒。大家都知道，压力愈大，水沸騰所需的溫度愈高。因此，在消毒鍋中蒸汽的溫度可能超过 100°C 以上。

在溫度消毒鍋中，溫度、蒸汽压力以及压力計的指示度之間存在着下列的关系：

溫 度	压力(大气压力)	压力計示度(大气压力)
100.0°	1.00	0.00
107.0	1.25	0.25
112.0	1.50	0.50
115.0	1.75	0.75
121.0	2.00	1.00

在用間歇蒸汽消毒时，当蒸汽均匀的排出后，即开始記时间，消毒半小时。在第二和第三天再重复消毒。所以要进行三次消毒，或称之为間歇消毒，是因为在 100°C 时仅杀死細菌的营养細胞，而孢子仍具有生命力。存留下来的、具有生命力的孢子，在第一次消毒之后，經過一昼夜，一般即萌芽，并出現营养細胞，在第二次消毒时，即能被杀死，第三次消毒后，培养基一般都是无菌的了。但是在使用之前还須要驗証。为此，将培养基在溫箱內或是溫暖的地方放置若干天，假如在这个時間內，培养基中沒有生长微生物(在培养基上呈現有混浊、菌膜或沉淀)，則可用来播种。

在培养基的組成內如有易受高溫破坏的物质(如蔗糖)时，則应用間歇消毒。

采用一次的高压蒸汽消毒是比較可靠的，因为在大多数情况下，能保証把微生物的营养細胞及孢子都杀死。根据消毒材料的

性质不同，蒸汽溫度可以提高到 112—115°C 和以上。

当用高压蒸汽消毒时，先把消毒鍋中所有的空气排出之后，才关上排气开关，并留心压力計的上升。当压力升到所需的数值时，则減低消毒鍋的加热，这时开始記时，消毒到所需的时间为止。当压力計是 0.5 气压时，则消毒材料一般須消毒半小时，而当 0.75 气压时則消毒 20 分钟。但是在有些情况下，仍需要比較长的消毒时间，因为某些細菌的孢子对高溫有强的抵抗性。特別对馬鈴薯培养基及含有白堊粉的培养基須要更加小心处理。

消毒时间到了之后，关上消毒鍋的电路，等压力下降到零时，打开排气开关。只有此后，才可以打开消毒鍋盖子，并取出消毒材料。

在消毒鍋內消毒液体或固体培养基时，一般都是把它们裝在試管、烧瓶或小瓶內，并以棉花塞塞好。消毒材料一般不超过器皿容积的 $\frac{3}{4}$ ，因为在消毒时，培养基将要煮沸，并可能溢出。将培养基放进消毒鍋以后，为了在消毒时不使棉花塞沾湿，其表面用紙或是油布盖上。最好在每个烧瓶或小瓶的頸部套上紙罩，此紙罩在培养基的今后保存时，可以保护棉花塞免染灰尘。

为了驗証培养基消毒是否彻底，把消了毒的培养基在溫暖的地方放置几天，只有驗証无菌以后，才可播种。播种是用白金环、白金刮鏟或吸管来进行。播种的方法如下：右手拿着白金环，左手拿着播种材料的試管及培养基試管，把白金环仔細地在酒精灯焰上烧一下，然后用右手的第五个或四、五二个指头夹住棉花塞，并把它从試管內拔出来，把試管口的邊緣烧一下，然后即从一个带有菌种的試管挑出少許播种材料轉到另一个試管內。此后再在火焰上把棉花塞及試管邊緣烧一下，即将試管塞紧。白金环使过后，也需要在火焰上消毒。当播种液体材料时，可用消过毒的吸管代替白金环。因为它可以滴量播种材料的数量。用完的吸管，放进盛有水的玻璃罐內，其中最好还加入某些防腐剂。

培养基接种之后，放进溫箱內培养，溫箱的溫度应預先即調整到适于該菌生长的恒溫。对不喜溫的腐生菌多半可在 25—28°C

下培养。若沒有溫箱，土壤微生物(除喜溫的)也可在室溫条件下培养。

为了識別培养出来的微生物的形态，必須进行显微鏡鑑定，在本文范围内，我們不可能描写显微鏡的构造及显微鏡觀察技术。在这方面，大多数的生物学家对这些問題都是有足够的知識。若有必要时，有关这方面的所有材料在任何一本微生物实习指南中，都有詳細的叙述。例如在B. Л. 奥梅梁斯基(1940), Г. Л. 謝里別尔、Р. С. 卡茲涅尔松等(1953)和З. Г. 拉祖莫夫斯卡娅(Разумовская)、М. С. 洛依揚斯卡娅(Лойцянская)、Г. Я. 秋日克(Чижик)和Н. М. 米久紹娃(Митюшова, 1955)等的书中均有介紹。在开始制作显微鏡玻片标本之先，必須准备清洁的、沒有油脂的玻片，因为在有油脂的玻片上不可能获得很好的染色片。

載玻片开始时应仔細地用热肥皂水或是用鉻化物溶液洗涤，然后，保存在酒精乙醚溶液內(1:1)。酒精乙醚溶液先是装在带有毛玻璃盖的玻璃罐里，然后把玻片放进去。玻片在使用之前，从玻璃罐中取出，用洁净的布巾擦淨，然后在其上滴上一滴所要研究的液体材料。假如被研究的菌种是取自液体培养基，則簡單地滴一滴长有細菌的液体培养基到玻片上即可。假如需要鏡检洋菜培养基或是其他浓缩培养基上的細菌菌膜时，先用白金环取出一点所研究的材料，置于少量的水中振蕩，以便获得悬浮液。然后滴一滴这样的悬浮液到載玻片上，就可以进行鏡检工作。

对每一个新的研究对象，一般开始是鏡检活的状态。为此，将滴有菌种的載玻片盖上盖玻片，并用显微鏡的低倍及中倍镜头进行觀察。然后，在盖玻片上滴上几滴香柏油，并把油镜头放到油內反复的进行油鏡觀察。对活的細菌进行显微鏡觀察时，可以确定它們能不能运动，并注意这种运动的特点等。

玻片标本染色以后，能更詳細地識別細胞的构造。在染了色的玻片标本上很容易區別营养細胞和孢子柄，并可觀察到粘液膜及不同的內含物，而这些在活細胞內是見不到或是看不清楚的。

在准备染色玻片标本时，先把带有研究材料的液体用白金环

在玻片上均匀地涂成薄层，并将玻片标本放在空气中干燥。干燥了的涂片須要固定。为此，把玻片的涂面向上，在酒精灯上来回烧3—4次，結果微生物細胞就緊緊的固着在玻片的表面。用不同的液体也同样可以固定涂片，这些液体的配方在上述的书籍里都有介紹。把涂片固定以后，即可以着手染色。染色的方法很多，选择哪种方法，則取决于研究的目的。土壤細菌最普通的染色方法是用石碳酸藻紅染色。这个溶液的配制是：溶解1克干的藻紅到100毫升的5%的水溶性石碳酸溶液里。此法配制的染剂可儲藏到較长的时间。玻片进行染色时，在玻片上滴上几滴染剂，經過20—30分钟，用水洗掉染剂。干燥后的染色片，不須要加盖玻片，用油鏡头觀察即可。

当确定細菌的分类系統位置时，按格兰姆法染色具有很大的意义。对于这种染色須要准备若干种溶液。

1. 石碳酸龍胆紫：1克干燥的龍胆紫溶解到100毫升的酒精里，再将此溶剂倒入100毫升5%的水溶性石碳酸溶液內。为了使染剂更加清澈，可在上述染剂內再加一些酒精。

2. 留戈尔溶液：2克的碘化鉀溶解到5毫升的水中，然后在此溶液內再溶解1克磨碎了的結晶碘。最后将此溶液用水加到300毫升。

3. 芬胺紅(复紅)：30克干的芬胺紅溶解到300毫升的96°酒精里。取10或20毫升上述的饱和溶液相应地加以90或80毫升的水。

格兰姆染色法如下：在火焰上固定了的玻片标本，用一小块滤紙盖上，其上滴以石碳酸龍胆紫，經過2—3分钟，将滤紙除去，用水冲洗玻片，再在涂剂上滴以留戈尔溶液，經過1—2分钟后，再用水冲洗玻片，并用酒精加工以便使涂剂脱色。脱色是先把酒精倒入量杯，然后把玻片在酒精內来回地浸入和取出数次。同样也可以用吸管把酒精滴到染色片上脱色。脱色的时间一般繼續到数秒钟(直到染色片在酒精里不再掉色为止)。用酒精处理时，格兰姆阳性反应的細菌保留着染色，而格兰姆阴性反应的細菌則脱色。

在染色片脫色之后，用水清洗，并再用苯胺紅染色2—3分钟。按格兰姆法染色的細胞将呈紫色，而未染色的呈紅色。

應該指出，某些微生物对格兰姆染色的能力并不經常表現出稳定的特征。有时，随着年龄的增长，格兰姆阳性反应的細菌細胞部分也会丧失这种能力。因此，为了解决某些有机体与格兰姆法染色的关系問題，最好采用年青的菌株，而染色工作的本身應該在有对照的情况下进行。为此，在同一个玻片上做三个涂片，以后同时染色。将所要研究的菌株涂于正中，两边涂以格兰姆阳性及阴性反应的菌株。这样，在有怀疑的情况下，就可能做出比較正确的結果。

在确定細菌的种类时，仅从它們的外部形态特征及对格兰姆氏染色关系来判断是不够的。为此，必須获得所謂的純菌株，也就是从一个种的細胞中分离的菌株。获取純菌株的方法很多，但是最简单而又普通的是从一个菌落中取得菌株。此法是把想分离的微生物混合物，用消毒水稀释，并播种到带有固体培养基的培养皿內(播种方法在下面叙述)，經過几天，在培养皿中就出現个别的微生物菌落。可以认为，每个菌落是由一个原始的細胞繁殖而来，因而是由同一种微生物的細胞所組成。揭开培养皿，用預先烧过的白金环，挑取单个菌落的一部分，小心地接种到带有新鮮培养基的試管中。用此法取得的菌株必須用細菌鏡检法和在固体培养基上繼續播种来驗証其純度。假如菌落是純淨的，那么在培养皿中长出的是相同的菌落。

但是在許多的情况下，获得純菌株是十分复杂及困难的任务。某些种細菌經常是与其所伴生的其它种类紧密地联結在一起，形成共同的菌落。因此想用播种方法从一个菌落中分开它們是不可能的。在这样的情况下，可以用不同系統的微控制器从一个細胞內分离純菌株。最普通的这种微控制器类型是別尔菲梅夫型的微选择器。該仪器在 3. Г. 拉祖莫夫斯卡娅等人(1955)合著的书中有着介紹。應該指出，这种机械方法分离菌株也不是經常能成功的，因为在某些种菌中分离出来的单細胞并沒有繁殖能力，或是

在这样的条件下,对于它们的繁殖,须要在培养基内补加某些其他的营养物质。寻找这种分离的单细胞所必需的条件并不是经常容易的,到目前为止,已知的很多种微生物还没有获得过纯菌株。

用某种纯菌株法来进行种的鉴定是需要花费很多时间及劳力的,因为鉴定工作须在它们的形态、培养及生理特性综合的基础上进行。在许多情况下,并不能鉴定到种,很多研究者仅能鉴定到属,或甚至到组为止。在鉴定时,建议应用 H. A. 克拉西里尼可夫 (Красильников, 1949) 的检索表。在 Д. М. 諾沃格魯德斯基 (Новогрудский, 1956) 一书中也有真菌、细菌和放线菌的简单检索表。

在路线及定位研究时微生物研究的组织

由于微生物研究方法的复杂性及繁重性,微生物学家的工作,在路线调查条件下,多半只能限于采取和保存土壤样品以便以后在实验室研究。在野外直接可做的,仅只是最普通的,不须要繁杂的实验室设备就可进行的一些工作,如: 埋片及其观察,用显微镜直接计数法统计微生物的数量(参看下面),以及其他某些工作。

在出发去野外之前,须要提早准备相应的材料及设备。微生物学者必须随身带有消毒的用不吸水的纸做成的土壤采集袋(最好是双层的)。纸袋的大小以装下 300—500 克土壤为宜。在消毒以前,把每 5—10 个纸袋一叠包在一张纸内,并用细绳捆扎起来保存。消毒是用 150°C 的干热蒸汽进行两小时。在更高的温度下纸就容易变碎而不适用了。纸袋也可在 115—120°C 的消毒锅中消毒半小时(压力计的压力是 0.75—1.0 大气压)。在这种情况下,特别重要的是纸袋必须仔细地包在纸内,以免消毒时被蒸汽浸湿。

如果在野外除了采取以后分析用的土样之外,不打算进行任何其它工作时,那么只要将纸袋放进小箱内,并随身携带着宽的土壤刀及野外记录本就行了。若是要对土壤微生物区系的组成及数量即使是进行最简单的观察,也都必须具备带有油镜头的生物显微镜、载玻片(几百个)、酒精灯、洋菜、0.01 毫升的微吸管、250 毫

升的烧瓶及染色用的石碳酸藻紅染液。

在定位觀察站里最好成立实验室，在这实验室內要求能够对土壤微生物区系进行全部的微生物分析工作，包括种的鑑定以及最主要代表的生物学特性的研究等。

土壤微生物区系的研究方法

現有的土壤微生物研究方法，概括地可以分为两大类：其中一类是不須要預先采集土壤样本，仅用非常简单的方法就可以进行的。另外一类就須要将土壤样本采回到实验室来。

埋 片 法

在自然界中，直接研究土壤微生物层片的最简单而同时又是最通用的方法是 H. Г. 霍洛德內(Холодный) 氏的埋片法，以及由其他作者对霍洛德內氏的方法所建議的修改法。

此法是将洗淨的干燥載玻片垂直地放进須研究的土壤內（玻片长的一边与土壤表面垂直）。为此，用刀子在土壤表面上做成一个垂直的剖面，取出刀子后，把玻片放到剖面里(图 2)。玻片的上面用挖出的土覆盖起来，靠近玻片的附近做以标志。玻片在土壤中放置的时间是根据季节及气候条件而定，通常須埋几天到几个星期。这时，在紧靠土壤的玻片表面上，就发育着該土壤的微生物层片。

从土壤中取出玻片須要很小心，最好不要破坏該土壤微生物在玻片表面所形成的特有的空間分布。为此，开始时，用刀子把玻片一面的土壤去掉(即今后不进行研究的一面)，然后很快的把玻片向另一面翻开。取出玻片时，用手拿着玻片的边沿，把准备研究的一面向上，朝下的另一面用一小块棉花擦干淨，并在酒精灯上固定。固定之后，去掉紧粘在玻片上的大粒土壤，因为它们可能影响鏡检。为此，将玻片的涂面朝下放进水中。这样土粒即落到

容器的底部。将玻片从水中取出之后，拿到水龙头下冲洗，然后用石碳酸藻紅染色半小时。染了色的玻片再用細水冲洗，凉干，即可进行显微鏡检查。

A. B. 雷巴爾金娜(Рыбалкина)和 E. B. 科諾年科(Кононенко, 1953, 1957) 对 H. Г. 霍洛德內的方法作了某些修改。为了在玻片上刺激微生物更快的发育，这些作者提議在玻片上預先涂一薄层含有热能物质和矿物盐的洋菜培养基。也可以简单地用水洋菜滴到玻片上。当有热能物质存在时，微生物的发育要快得多，上述作者所用的培养基成分如下：

	1000 毫升
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2 克
K_2HPO_4	1 克
MgSO_4	1 克
NaCl	1 克
淀粉	10 克
白堊粉	3 克
洋菜	15 克

为了去掉在培养基內含有的微生物細胞，在用鸡蛋白預先制备好的培养基內，加些白堊粉(CaCO_3)。制备的方法如下：用一个鸡蛋的蛋白与两倍的水进行振蕩，注入到 500 毫升冷却到 50°C 的培养基內。然后，将培养基剧烈地振蕩，并在水浴鍋上放置半小时，以便使蛋白凝固。此后，用滤紙将培养基在热漏斗上或放在消毒鍋中进行热过滤。

为了驗証此培养基的适用性，在載玻片上預先滴几滴这种洋菜培养基进行干燥、固定、染色和鏡检，以便确实証明其中沒有微生物細胞。如果确认培养基是适于今后工作之用(沒有微生物細胞)，則在培养基內再加白堊粉，最后在每个試管內倒入 4—5 毫升的培养基，在消毒鍋中用 0.75 大气压消毒半小时。

預先消毒好了的玻片应在洁淨的箱內浇注培养基。为此，把培养基在热浴鍋上溶解，同时，用火烧过了的镊子夹住玻片的一端，在火焰上烧过后，斜放在消毒了的培养皿上。用吸管在玻片表面浇

注約0.15—0.20毫升的培养基，多余的培养基便流入培养皿內。培养基應該均匀的分布在玻片的表面。仅用镊子夹住的那部分沒有培养基。玻片浇注后，在每个培养皿內各放4—5个，并置于35—45°C的溫箱中进行干燥。此时培养皿的盖子应稍微揭开一点。

干燥的玻片連同培养皿一起放进罐子里，然后用火烧过的镊子将每对玻片以带有培养基的一面两两疊合起来，用消毒紙包好，最后再将若干对玻片用大紙包起来。

为了驗証消毒是否彻底，应先把几个具有洋菜培养基的玻片放到恒溫箱的保湿器皿內（带有湿滤紙的培养皿或柯赫皿）擱置24—48小时，然后干燥、固定、染色及鏡检。

当把这样的玻片埋放到土內去时，应先在需要的土层中挖一个6—10厘米深的沟，在沟的后壁用鏟子鏟一条垂直的縫，把玻片插在縫內，并用鏟子把带有培养基的玻片一面紧紧压靠土壤，再用土壤把玻片的另一面压紧，然后这个沟用挖出来的土覆盖好。

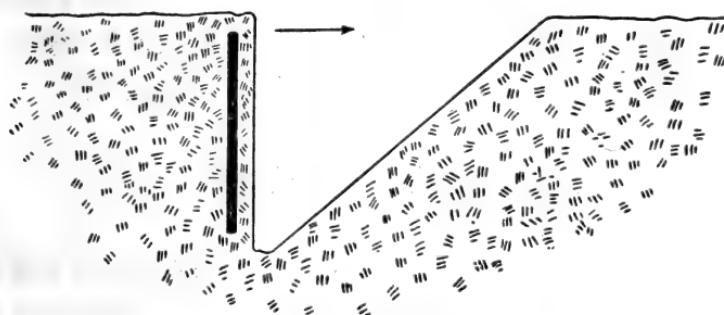


图 2 玻片在土壤內的位置

玻片在土壤中埋藏的时间取决于一系列的条件，首先是溫度及湿度条件。在溫暖天气，有时数天就行了，在冷天或是干燥天气内微生物在埋片上的生长很慢，这时玻片在土壤中埋藏的时间将要延长到几个星期或更久些。

在土壤中，洋菜培养基易于膨胀，因此，取出埋片时須要更加小心。取出来的玻片，在空气中干燥。在野外，用鐵酸蒸汽固定，然后就这样送到实验室去，以便进行进一步的处理。

在實驗室內，玻片用石碳酸藻紅溶液(1%的藻紅溶到5%的石碳酸溶液)染色一小时。从玻片上洗去染料时，須要非常小心，以免损坏洋菜培养基。为此，可将玻片放到一个盛有清水的玻璃杯內清洗，然后再換到另一杯清水內，如此，一直換到杯內水不再变色为止。染了色的玻片干燥后就可以进行鏡检。

先用低倍鏡觀察染色的玻片，这时，是察看微生物一般生长特征及它們的相对密度。当詳細研究微生物菌落时，还应利用油鏡觀察。

在埋片上可以区别出藻类、真菌、放綫菌、芽孢及无芽孢細菌。

埋片法可以觀察在自然状态下的土壤微植物区系。这就是它的主要优点。但是，用这个方法不可能判断出微生物在土壤中的活动性以及其生物化学反应和微生物过程的优势方向。这个方法的局限性另外还表現在仅看到显微鏡下的一般景象，不能确定各个群落成分所属的种，因为鑑定种属必須应用純菌株进行生理特性的研究。用埋片法同样也不可能了解土壤中微生物的正确数量。为了研究微生物的数量和种类組成，以及研究它們的生理特性和生物化学反应，必須采用新鮮的土壤样本进行實驗室研究。

土壤微生物分析的土样采集

土样的采集是很重要的任务，因为它要求选择能代表某地区土被主要特性的地点。土样最好是从土壤学家所設置的土坑內采集。在生荒地上应从每个层次內分別采取土样，这时应先自最深的层次开始，然后再逐次向上层采集。

在采集土样时，可应用不消毒的寬土壤刀。将此刀在被研究的土层中来回地摩擦数次，从土中取出后，再用該层土壤把刀擦淨。所采取的土样最好用消毒的厚紙袋貯藏最为方便，在每个紙袋中盛300—500克土样。在紙袋上用普通鉛笔写上日期，剖面号码及土壤层次；有关采样的詳細情况登記在野外日記簿上，其中包括記載該地区的植被和天气情况等。

在研究熟化土壤时，是采取所謂的平均土样，这种土样是把研究区域內若干个調查点上所采集的各个土样混合而成。然而，在同一个地段上最好还是采取若干个单独的土样，因为这不仅有助于了解該微植物区系的某些平均数值，而且还能說明被研究地区不同点上微植物区系的組成和数量的变动范围。遺憾的是，由于微生物研究的工作量很大，并非經常有可能这样做，因而通常只好采取一个平均土样。

由于在一年中，土壤微植物区系有着很大的季节性变化，因此建議在一年內进行多次研究，即使是在生长期內能进行2—3次也好。

对于研究与植物根系有关的微植物区系，則上述的取土方法是不适用的。在这种情况下，应选择該地段有代表性的植物，在其下采取面积为 10×10 或 15×15 厘米及深度为15—20厘米的整段标本。整段标本应紧紧地用紙包起来放进箱子或盒里，并送到实验室去。

微生物分析

所采取的土样应尽可能在新鮮状态时即进行分析，因为当它们在实验室条件下保存时，不同微生物类群間的关系可能发生剧烈的变化。在苏联一般是在采取土壤后，不迟于一昼夜即进行分析。某些国外研究者(Pochon, 1954)认为在室溫条件下保存土壤，在三星期內微生物区系仍将保持其稳定状态，并不妨碍分析結果的正确性。

假如由于某种原因不能用新鮮土样进行工作时，研究人員不得不利用在实验室內保存了較长时间的干土壤。这时，可以采用某些人工方法使土壤微植物区系預先活跃起来。为此，把土壤放到玻璃杯或柯赫培养皿內，用蒸餾水使其湿润到最适宜的湿度(土壤含水量約40—60%)，并在恒溫箱或室溫条件下放置5—7天。

在土壤中，由于湿度的影响，恢复了它們固有的微生物学过

程，在某种程度上也可恢复干燥时候被破坏了的各类群微生物之間的平衡。

用这种方法所活跃起来的土壤样本，其以后的分析方法与新鲜土样相同。但是，当研究微植物区系的季节动态或是研究植物根际微生物时，此方法则不适用。在这种情况下，只能应用新鲜采集的材料。

在研究一般土壤微植物区系时，采用下列方法。在分析之前，每个土样都仔细地混合，使得土样充分的均匀。因为微生物分析结果的计算须换算成一克干土的数量，因而必须首先确定它们的含水量。含水量应该在该土样微生物分析之前即确定，因为这样使我们可能立即把土样换算成相当于干土的重量，使研究者避免以后不必要的换算。当确定土壤含水量时，在技术天平上预先称好土壤盒重，再称5—10克土壤于95—100°C温度下烘干到恒重。

土样的微生物分析可用不同的方法进行。但是为了使材料能互相对比，所有的土样必须用同一种方法进行研究。

目前，微生物学还没有某种万能的方法可以用来统计所有的土壤微植物区系。现有方法中，每一种仅能发现一定部分定居在土壤中的微生物。因而在进行研究时，一般同时采用若干种方法，互相补充，最终即可对所研究的微植物区系的特性形成一个总的概念。

尽管在每一个土壤中微生物的数量并不是固定的，但通常仍认为，在生物性能活跃的土壤中，在大部分情况下多半有大量的微植物区系。因此，在研究土壤微生物时，首先确定土壤中微生物的总数。为此目的，或是应用所谓直接计数法，或是用菌落统计法（平板稀释法），而应用极限稀释法的较少。

微生物的直接计数法

由C. H. 维诺格拉德斯基(Виноградский)所制定的土壤微生物数量直接计数法，在目前是众所周知的。但是通常应用的不是原

有的方法，而是修改了的方法。

由 O. Г. 舒尔金娜(Омелянский, 1940) 所建議的修改法是最简单而易行的。采用这种方法須要具备带有油镜头的显微鏡、接物測微尺、洋菜、純酒精、石碳酸藻紅及洁淨的載玻片。秤 0.1 克洋菜放到 100 毫升开水中。在使用之前，直接制备成的洋菜溶液不須要預先消毒就可以即刻应用。

为了計算微生物数量，先秤 5 克須要研究的土壤，放到盛有 50 毫升消毒水的容量为 250 毫升的烧瓶內，用手将烧瓶搖蕩 5 分钟，再靜置 1—2 秒钟，以便使大土粒沉淀，然后即可制做涂片。这时，先把洁淨的載玻片放在一小块坐标紙上，然后在此載玻片上用微吸管恰好滴上 0.01 毫升的土壤悬浮液，使其均匀分布在 4 平方厘米的面积內。

将制好的涂片风干，浇上洋菜溶液，再重新风干，用純酒精固定 2 分钟。固定了的涂片用水漂洗后，再用石碳酸藻紅染色 20—30 分钟，然后再冲洗、风干，即可在显微鏡下以油镜头觀察。在計数时，須觀察 100 个視野，統計其微生物数量，然后再計算一个視野里微生物的平均数。为了換算成土壤的整个秤量重，就須要确定視野的面积。这时，可将測微尺放在載物台上来确定視野的面积。用測微尺将視野的直径(R)求出以后，計算出它們的面积，这个面积等于 $3.14 R^2$ 。

以后的換算就不很困难了，因为所留下的仅仅是确定玻片上整个涂片面积的微生物总数(即 0.01 毫升土壤悬浮液內的数量)。然后換算成一克土壤重的微生物数量。

在显微鏡下的直接計数法，在大多数情况下，比同种土壤在各种培养基上播种所統計出的微植物数量要多些。但是此方法仍有缺点，这个方法的錯誤来源之一就是不可能區別活細胞和死細胞。

此外，非常小的，处于显微鏡能見边界的某些細菌的細胞，有时它們的数量极多(特別在北方土壤內)。用这种方法就数不到。还有一部份細菌是被吸着在土粒上，它們也同样会被研究者忽略。

細菌被土壤胶粒所吸着的現象，用 Ф. Н. 盖尔曼諾夫所建議的方法（参阅 Омелянский, 1940）在某种程度上可以使它减弱，不过这使得工作方法复杂化，使工作量加大。

按 Д. М. 諾沃格魯德斯基法確定微生物总数

对于确定土壤微生物的总数，Д. М. 諾沃格魯德斯基的方法同样也是最简单和最方便的，它不仅可以統計土壤微植物区系的总数，在某种程度上，还可以同时統計其质的組成。应用这个方法，不須要具有很好的实验室設備，而且在最简单的半定位試驗条件下也可采用。所有必需的設備是：显微鏡、技术天平、土壤篩、酒精灯、带有培养基的培养皿。此法的原則是秤一定重量的风干土壤細粒播种到洋菜水溶液里，使它們在其中萌芽。因为洋菜水溶液是很貧瘠的营养基质，微生物发育时多半是利用土壤本身所带有的有机物和矿物质。

假如考慮在半定位条件下采用 Д. М. 諾沃格魯德斯基的方法，則出发到野外之前，必須事先准备足够数量的消过毒的培养皿及洋菜水溶液。培养皿每3—5个一叠用紙包好，在干燥箱內以150—170°C 溫度进行消毒。洋菜水溶液的准备是把15—20克洋菜溶解到1000毫升的自来水中。准备好的培养基在热的状态下經过脱脂棉花进行过滤，并倒入小烧瓶或小瓶內。在消毒鍋中以0.75大气压力进行消毒。需要使用时，把培养基溶化。为此，将烧瓶放在盛有开水的鋼精鍋內或放进水浴鍋內即可，然后倒进培养皿內。当水琼胶培养基在培养皿內凝固后即可以进行播种。把需要研究的风干土样，用0.25毫米的篩子过篩，然后把篩过的土壤細粒秤出25或50克（根据土壤性质决定），均匀的撒在培养基表面，撒播土壤細粒最好借助于专门为此而准备的玻璃漏斗，此漏斗是用带有开关的滴定管截断而成。把一定秤量的土壤放到漏斗中去，輕輕打开开关，并斜握着漏斗，慢慢的把土壤細粒撒到洋菜培养基的表面。每一个土样播种若干个重复。把播了种的培养皿底朝上用墨

汁或蜡笔写上字，并放到恒温箱内或放置在室温条件下使其萌芽。在培养基上，土壤细粒的周围很快形成水膜，经过一些时候微生物即开始发育。播种后经过1—2昼夜，用显微镜统计在土壤细粒上发育的真菌。其菌丝体用低倍显微镜在水洋菜培养基表面很容易看到。再较晚一些时候，统计真菌就不可能了，因为它们的菌丝体扩散到整个培养皿。统计水膜内的细菌应在播种以后的3—5天内进行，而统计放线菌则在播种后的10—15天。上述所有微生物的统计都是在同一个培养皿内进行的。

在计数时，为了不使空气中的微生物污染到培养基表面，用玻璃管挖出五小块直径各为1厘米的培养基薄膜（在中间取一个，其余的在四周），把这个薄膜移到载玻片上去，用刀片沿直径线平行的切成四份，每一份再分成两个小条，分别进行显微镜观察。在用低倍镜观察时，整个小条都可在视野之内看到，这就使计数容易得多了。将活性细粒的总数换算成洋菜膜的总面积，然后再换算成土壤细粒的克数。

Д. М. Новогрудский的方法，比用土壤悬浮液播种到其他固体或液体培养基上的方法优越。它可以对土壤中微生物自然相互关系获得比较正确的概念。

以平板稀释法确定微生物数量

在微生物学中，平板稀释法是计算数量的最普通的方法。此法是用土壤悬浮液播种在固体培养基上，然后统计所长出来的菌落。可以认为每一个菌落是由一个细胞繁殖而来。因而长出来的菌落数应该与播种材料中的微生物数量相符合。实际上，并不全是这样，因为部分的菌落可能是由几个细胞组成。同时，并不是土壤中所有的微生物都能生长在所采用的培养基上，因而，用这个方法，只能统计对该条件非常适合的那一部份土壤微生物区系。

因为生活在土壤中的微生物对生长条件的要求是极不相同的。不可能创造一种万能的对所有土壤微生物皆适宜的培养基。

因此，一般采用牛肉汁-蛋白胨培养基計算細菌數量，用麥芽汁培养基統計真菌，而用淀粉氮培养基計算放綫菌。

牛肉汁-蛋白胨培养基准备方法如下：将牛肉除去脂肪、膜及筋并用肉刀切碎。在500克碎肉中加入1000毫升的水，在冷的地方放置16—20小时。然后，用洁淨的布挤榨碎肉，将所取得的浸液煮沸30分钟。当煮沸时蛋白质即凝固，这时进行过滤除去蛋白质。所取得的滤液用水加到开始时的容积，并在消毒鍋中用120°C溫度消毒20分钟（約一个大气压力）。这样的牛肉汁即可备用。牛肉汁-蛋白胨培养基就是用这种牛肉汁在其中溶以干的蛋白胨及食盐而成。在1000毫升的牛肉汁里加进10克蛋白胨及5克的食盐。因为牛肉汁是弱酸性反应，因此所获得的汁液应仔細地用10%苏打或氢氧化鈉使之碱化，用石蕊試剂試驗呈弱碱性反应即可，然后煮沸或热蒸使汁液的蛋白质凝固，并在热的条件下进行过滤。在所获得的透明汁液內加入洋菜，每1公升內加入20克。在煮沸时，溶解洋菜，然后倒进各烧瓶內，并在消毒鍋中用0.75个大气压（壓力計示数）消毒20分钟。消了毒的培养基必須放在凉爽的地方，以防止干燥。

麦芽汁培养基的制备：是在啤酒酿造厂取得麦芽汁，并用2.5—3倍水稀释，然后加入洋菜（1000毫升加20克），在0.5气压下或用間歇蒸汽消毒半小时。

淀粉氮培养基的制备方法如下：在1,000毫升的蒸餾水中順序溶解下列各种盐类：

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1克
K_2HPO_4	1克
MgSO_4	1克
NaCl	1克
白堊粉	3克

把少量准备好的溶液倒入化学烧杯內，再加入10克的淀粉。将所剩余的溶液煮开，并在不断攪拌的情况下，将上述烧杯內的溶液倒入煮开了的液体中。然后加20克洋菜，将培养基煮沸使洋菜

完全溶化，再倒进烧瓶内，在0.75大气压力下消毒。

土壤样本应该在播种之前即预先准备好。为此，在消毒的瓷碾钵内将它们碾碎，以便使大块土壤粉碎，并使土粒具有同样均匀的结构，除去根及小石块。碾钵的消毒是用酒精擦后，再用火烧。

把磨碎了的土壤秤出相当于5克干土重的数量，置于盛有50毫升消毒水的烧瓶内。为了获得均匀的悬浮液，应用手或摇床剧烈地振荡10分钟。但是在这样的土壤悬浮液里仍含有非常多的微生物，为了播种后，在固体培养基上可以生长单个的菌落，此悬浮液开始时应进行一系列的稀释，每一次稀释液比前一次稀释液中含有的微生物数量要少10倍。稀释时，先在各个试管里准备消毒水。每一个试管内装9毫升的水，用蜡笔顺序写上号码及土壤样品的编号。用消毒的吸管自装有土壤悬浮液的烧瓶内吸出1毫升悬浮液到第一个试管中即形成第一次稀释液，把该试管内的液体用吸管吹气使之很好的拌匀。从第一个试管再取出1毫升液体至第二个试管中即获得第二次稀释液，依此类推。对于每一次稀释液都必须用新的消毒吸管，因此必须预先准备好足够数量的消毒吸管。

在培养皿的固体培养基上进行播种时，可同时播种若干个稀释液。播种前，在每个培养皿的盖上用墨汁或蜡笔写上土壤试样的号码、播种时稀释液的次数及日期。由于土壤性质及培养基成分的不同，一般都是用第二、第三和第四次的，或是第三、第四和第五次的稀释液来播种。在某些情况下还采用第六次的稀释液。播种的技术可能是各种各样的。在一种情况下，是把溶化了的培养基倒入培养皿内，当培养基凝固后，将培养皿放至恒温箱内使其略微干燥。此后即可进行播种。用消毒的吸管吸0.5毫升所须稀释度的土壤悬浮液到培养基表面，并用玻璃刮铲使其均匀的分布在培养皿内。同一个土样的培养皿可以用同一个消毒吸管进行播种，在这个时候，应开始先播浓度最稀的稀释液，然后再播较浓的稀释液。

有些研究者是先在空的消了毒的培养皿底部滴入1毫升土壤悬浮液，紧接着将温的(不烫的)培养基倒进此培养皿内，轻轻地摇幌培养皿，使整个播种材料均匀地分布。用这种方法播种，部份的

菌落并不在培养基表面而是在其底部生长，这就往往对它们的鑑定增加很大的困难。播了种的培养皿使底部向上，放到溫箱中去。

所有的播种建議都做若干个重复，每一个悬浮液同时播3—5个培养皿。生长在牛肉汁-蛋白胨培养基上的菌落在播种后的3—4天即应进行計数。以后，菌落即往往极力扩张，互相連結一起，这时要进行計数就不可能了。在計数时，只应統計菌落数量在20—200之間的培养皿。因为菌落数过多或太少时，都会影响結果的正确性。在統計很小的菌落时，可以应用放大鏡。每一个統計过了的菌落可在培养皿底部靠近菌落的旁边用墨水或墨汁点一个小点以做标志。

在牛肉汁-蛋白胨培养基上，绝大部分生长的是細菌菌落，部份是放綫菌，仅在个别情况下才生长着真菌。真菌、細菌及放綫菌的菌落必須分別計数。然而，为了了解該土壤內这些微生物类群之間的数量比例，不能仅应用一种培养基，而必須采用若干种培养基。因为牛肉汁-蛋白胨培养基对霉菌來說并不是最适宜的。如上所述，它們的数量統計应在麦芽汁培养基內进行。其菌落的数量統計应在播种后的第三天进行，而过一星期后，再重新鏡检培养皿以便鑑定其种属。統計放綫菌是用淀粉氨培养基，其菌落的計数是在播种后的7—10天內进行。

某些微生物的优势对土壤微植物区系的鑑別來說，是很重要的特征。在生物学上活跃的肥沃土壤中，霉菌的相对含量一般來說比細菌要少。相反的，在北方灰壤类型的貧瘠淋溶土壤內，真菌在它們的微生物区系中是很重要的部份。

在培养皿中，生长的放綫菌菌落和細菌菌落可以从气生菌絲上區別出来。放綫菌的气生菌絲可能染成各种顏色（灰的、黃的、玫瑰色等）。除此之外，放綫菌的菌落紧密的生长在培养基內，要把它們从培养基內挑出来是很困难的，而絕大多数的細菌菌落用白金环是很容易从培养基中取得。但是某些微小的放綫菌菌落有时毕竟还是很象細菌菌落，为了确定它們的特性，必須用显微鏡。为此，将培养皿放置在显微鏡的載物台上，在低倍鏡下觀察所怀疑

的菌落的邊緣。若是放綫菌菌落則具有細的菌絲體。放綫菌与霉菌菌落的區別,是放綫菌具有极小而又柔細的菌絲。

根据某些作者的材料 (Pochon, 1954; Lochhead 和 Burton, 1956)对于土壤微生物的計数最好的培养基是洋菜土壤浸出液,因为在这种培养基上生长的菌落要比在人工蛋白或合成培养基上的多。这是因为土壤浸出液是非常接近自然的基质。在这种培养基上微生物的发育进行很慢,而生长出来的菌落也是很小。这也是它的优点之一,因为如果象其它培养基一样,在其表面都是生长大的菌落,那么不同微生物之間即产生拮抗作用,則其中部分微生物可能完全不发育。

准备土壤浸出液培养基的方法 (Pochon, 1954)——是把肥沃的果园土壤按1,000毫升的水与1公斤的土的比例混合,在室溫条件下放置24小时。然后在130°C的消毒鍋中消毒1小时,并在热的情况下过滤。过滤后检验一下酸碱度,此培养基應該接近中性。假如土壤浸出液是酸性或强碱性的話,則应很仔細地加入苏打或盐酸,使其达到所需的pH。当确定pH值时,可以应用普通的指示剂或者最低限度用石蕊紙。在成中性的土壤浸出液中加入洋菜,然后把它放在消毒鍋中进行消毒。

用极限稀釋法确定微生物数量

极限稀释法的实质是在于把被分析的土壤按順次减少的数量播种在任何一种液体培养基内。通常是采用一系列順次稀释的土壤悬浮液来播种。对各次的播种进行觀察,以后要注意那些有微生物发育的器皿。播种后仍有微生物生长的最后一次稀释液使我們有可能用来确定該土壤中微生物的数量。例如微生物的最后一次生长是发现在第七次的稀释液内,而在第八次稀释液内就沒有了。这时候,在1克的土壤中所含的菌数約为 1×10^7 也就是1,000万个細菌。

极限稀釋法只能得出极近似的結果,因为每一次稀釋液内播

种材料的含量比上一次稀释液內所含的量要少9/10。为了获得比較正确的数字,所有的播种建議进行若干个(到5个)重复,在計算最后結果时,可采用馬克·克列吉表(таблицы Мак Креди)。該表是根据变数統計資料而編制的,它在Д. М. 諾沃格魯德斯基一书中(1956)有着引載,并附有使用方法。

极限稀释法在分析所謂土壤微植物区系类群組成时,被广泛地采用着,但在确定土壤中微生物的总数时則几乎不用这种方法。

微植物区系的类群組成分析

对于土壤微植物的鑑別,除了統計微生物的总数之外,分析所謂微植物区系的类群組成也是非常重要的。

类群組成能够說明土壤中进行不同生物化学过程的微生物的比例。因而在某种程度上也可以說明这些过程的优势方向。在每一个生理类群中包括的微生物种类往往在分类系統上是相距很远的,但它们具有相同的生理作用。

在土壤中,与氮素轉化有关的微生物类群的組成被认为是对土壤肥力最有指示性的。在矿物质貧乏的灰化土內,硝化和好气的固氮过程表現得很弱,或者完全沒有。固氮菌和硝化細菌的大量生长,說明土壤有足够的盐基,說明土壤中物质轉化的一定强度,因而也說明土壤有較高的生物学活性。

当分析土壤微植物区系类群組成时,必須准备各种营养培养基来了解主要的微生物类群。为了統計能分解有机氮而形成氨素的細菌,可应用蛋白胨水溶液。此溶液的配制是将10克的蛋白胨溶在1000毫升的自来水中,另加5克食盐。将培养基倒进試管內,消毒后,用第3—10次的土壤稀释液播种。播种是用1毫升的土壤悬浮液,并做几个重复。播种后經過数天即須注意試管內細菌的生长及氨的形成。关于氨的存在可根据紅色的石蕊紙来判断。把紅色石蕊紙預先用水蘸湿以后,塞到試管口內,若試紙变成蓝色,

則可确定有氨的存在。所获得的材料可按馬克·克列吉表来整理。

在統計硝化細菌的数量时,可应用維諾格拉德斯基的培养基,其成分如下:

蒸餾水	1000 毫升
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2 克
K_2HPO_4	1 克
MgSO_4	0.5 克
NaCl	2 克
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	0.4 克

由于磷酸鐵的沉淀,培养基变为渾浊,因此,在将它們倒进小玻璃器皿之前,需要很好地攪动。培养基配制好后,用刀尖挑取一点白堊粉撒在容量为 50 或 100 毫升的小烧瓶內,再倒入少量的培养基,使其厚度不超过 1 厘米。然后放入高压消毒鍋內以 0.75 大气压力消毒 20 分钟,并用第 1—6 次稀释液播种。因为在某些土壤中,硝化細菌的数量可能不是很多,所以最好用大量的材料播种。为此,可用粗天平再秤 0.5 和 1 克的土壤播种在若干个烧瓶內。

硝化細菌发育很慢,因此烧瓶須在恒溫箱內放置 2—3 个星期,在某些情况下还需更长些。在播了种的烧瓶內,可以根据亚硝酸和硝酸的出現而判断有无硝化作用的存在。确定这些酸类物质存在的方法如下:在洁淨的瓷板上或是在表面皿下垫一张紙,在其上放一点結晶的二苯胺,并滴一点浓硫酸,二苯胺即溶解在浓硫酸內。用白金环取出一点将要試驗的液体,放到所获得的溶液內,这时若出現蓝色即說明至少有一种所寻找的酸类物质,或是二种都存在。为了确定亚硝酸中有无硝酸盐的存在,可加 N 毫升 10% 的 NH_4Cl 溶液到被研究的溶液內,用带有迴轉冷却装置的设备煮半小时,以后用二苯胺按上述方法再进行試驗。在这种情况下,若出現蓝色,則确定仅有硝酸存在。格里斯指示剂是用来指示亚硝酸的。它由两个溶液組成:第一个溶液是以 0.5 克对氨基苯磺酸溶解到 150 毫升的30%的醋酸里;第二个溶液是以 0.1 克 a-萘胺酸在 20 毫升的蒸餾水中煮沸,并加入 150 毫升的30%醋酸。

为了确定亚硝酸的存在，在小平板上把格里斯指示剂的第一和第二种溶液各滴一滴混合起来，再用白金环加入一点試驗液体。若有亚硝酸存在，则出現玫瑰色。

培养硝化細菌也可以利用固体培养基。由硅酸胶制成的薄膜被认为是最好的固体培养基。此法首先是由 C. H. 維諾格拉德斯基第一个在实践中应用。硅酸胶是用等量容积的水玻璃（比重为 1.05—1.08）和盐酸（比重是 1.10—1.08）逐渐混合而成。将水玻璃倒进装有盐酸的玻璃器皿中，混合液仔细地加热，在即将煮沸时就倒入培养皿中。过几小时后，在培养皿内即形成胶膜；当它已很結实时，用流动的自来水冲洗 2—3 昼夜，以便除去氯盐，然后再用热水冲洗数次。有无氯盐的存在，可用硝酸銀来确定。为此，在少量冲洗的水中加几滴 1 % 的 AgNO_3 溶液。如果出現混浊則表明其中仍有氯离子的存在。

把經過冲洗而制好的胶膜連同培养皿一起用紙包好放在消毒鍋內用 112—115°C 溫度 (0.5—0.75 壓力) 消毒 15 分钟。消毒了的薄膜，用选择性培养基（同样須是消过毒的）浸透，这种选择性的培养基比一般液体培养基应具有較高的浓度。

浸透薄膜时常用磷酸胺鎂盐。此溶液的配制方法如下：把 25 克氯化銨及 20 克硫酸鎂溶解到 20 毫升水中。另外再单独地把 10 克磷酸鈉溶解到 100 毫升水中。将上述二种溶液倒在一起，过一会，在此混合溶液内加入 10 毫升的飽和氯化氨溶液，并滴入 2.5% 的氨直到出現有 NH_3 的气味为止。此后，再加入少量的氨，过 10 分钟，即进行过滤。在滤紙上冲洗过滤沉淀物直到氨的气味消失为止。最后在室溫条件下风干，并在高压消毒鍋中消毒。播种时，将 0.2 克所获得的磷酸銨鎂盐和 1 毫升所須稀释度的土壤悬浮液在碾鉢內碾碎，然后倒进带有胶膜的培养皿内，再用少量的消毒水洗刷碾鉢及碾棒，将所洗的水仍倒进上述培养皿内。播种材料应均匀的散布在胶膜的表面。然后把播过种的培养皿放在保湿器内（可以利用加水的干燥器），再置于恒溫箱中。在硝化細菌菌落的四周形成明亮的圈。此現象是由于在形成的亚硝酸和硝酸的影响

下盐分溶解的結果而产生的。假如土壤內的硝化細菌很貧乏时，用这种方法往往是很難發現它們。在这种情况下，可以应用土粒播种。借助于用水浸透的和尖端熔化过的玻璃細管或是細镊子取小块的土粒(1—2毫米)，并一行一行有規則地放在胶膜的表面。虽然用这种播种方法时硝化細菌的菌落用肉眼看不見，但是在試驗开始后若干天，就可以发现有硝酸和亚硝酸的反应。

反硝化細菌可以用吉尔太培养基来发现。当准备这种培养基时須分別配制两种溶液，然后将此两种溶液混合再加水到1,000毫升。

第一种溶液含有：

水	250 毫升
KNO ₃	2 克
天門冬素	1 克
(有时不加天門冬素)	

第二种溶液含有：

水	500毫升
檸檬酸鈉	5 克
KH ₂ PO ₄	2 克
MgSO ₄	2 克
CaCl ₂	0.2克
FeCl ₃	少量
葡萄糖	10克

在試管內倒入很厚一层培养基，并在112°C(0.5大气压力)的高压消毒鍋中消毒。播种一般都用第1—6次稀释液。然后用二苯胺試驗，根据气体的出現及硝酸的消失即可判断出反硝化作用的存在。

統計嫌气性固氮微生物如固氮梭菌(*Clostridium pasteurianum*)的数量时，可用C. H. 維諾格拉德斯基的液体营养培养基。其配制如下：

蒸餾水	1000毫升
葡萄糖	20克

K_2HPO_4	1克
$MgSO_4$	0.5克
NaCl	
FeSO ₄	
$MnSO_4$	微量

在試管底部用刀尖撒以少量的白堊粉，再倒入很厚一层培养基。在112°C(0.5大气压)的高压蒸气或是用間歇蒸汽消毒。然后用第1—6次稀释悬浮液进行播种。当有固氮梭菌生长时，經過几天在培养基内即出現气泡，并开始发出丁酸的气味。

为了确信在培养基内的变化是由于固氮梭菌而不是某种其它微生物的生长所引起，则可用吸管从試管底部吸出一点試料，把它们滴在載玻片上，再加一点碘化鉀溶液，用盖玻片盖上涂片，并进行显微鏡检查。固氮梭菌的大細胞是呈紡錘形，内部含有椭圆形的孢子，染色呈紫蓝色。固氮梭菌是自然界中分布很广的固氮微生物，几乎在所有的土壤中都可以遇到。

在土壤中好气性的固氮作用，主要是由固氮菌、蓝綠藻以及与不同种高等植物相联系的根瘤菌所引起的。当进行土壤微生物分析时，一般仅只限于觀察和統計固氮菌的細胞数量，为此，在大多数情况下，都是采用无氮的(爱施比)培养基，其組成如下：

蒸餾水	1000毫升
甘露醇	20克
K_2HPO_4	0.2克
$MgSO_4$	0.2克
NaCl	0.2克
K_2SO_4	0.1克
白堊粉	5克
洋菜	20克

用第2—5次稀釋的土壤悬浮液播种，并統計长出的固氮菌菌落数量。固氮菌菌落很大，不透明，粘液状。某些固氮菌一般都是随着年龄增大而变暗，有时呈暗棕色，如自生固氮菌 (*Azotobacter chroococcum*)。固氮菌的細胞很大，圓形，具有粘液状的莢膜。在爱施比培养基上，除固氮菌菌落外，还有喜少量氮的細菌生长，但在

絕大多数情况下，它們从菌落的外形及細胞的形态上都可以和固氮菌區別开。

因为在某些土壤中，固氮菌的数量不是很多，因此，为了发现它們，可采用土粒播种法。将土粒播种在爱施比培养基表面，經過3—5天，在土粒周围即生长出粘液状的固氮菌菌落。

在土壤中，除了参加轉化亚硝酸物质的微生物之外，纖維分解細菌对于研究土壤肥力具有很大的生物指示意义。对于培养这种纖維分解細菌用 O. И. 普什金斯卡娅 (Пушкинская) 所建議的方法是最方便的。該方法具体如下。用下列成分配制固体培养基：

水	1000毫升
K ₂ HPO ₄	1克
MgSO ₄	0.5克
NaCl	0.5克
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.5克
洋菜	20克

培养基倒入培养皿內，当培养基凝固后，取0.05毫升第2—5次稀释的土壤悬浮液滴到培养基表面上，用玻璃刮鏟使其均匀地分布在培养皿內。然后将消毒的滤紙放在培养基表面上，并用玻璃刮鏟将滤紙紧貼着培养基。纖維分解細菌生长很慢，因此必須将培养皿放入保湿器中，并在恒溫箱內放置2—3个星期。在好气性的纖維分解細菌的作用下，滤紙上即复盖着各种色泽的斑点，并慢慢开始分解。在接近菌落的地方可觀察到纖維的变化及浸漬，所以根据这个特征可以統計其菌落的数量。

除了細菌菌落以外，在培养基上同样有真菌和放綫菌菌落生长，这些菌落須单独計数。

在研究具有明显嫌气性特征的过湿土壤、盐土及某些其他土壤的微生物区系时，了解嫌气性纖維分解細菌、丁酸細菌、硫酸盐还原菌等生理类群有很大意义，在进行一般的微植物区系的类群分析时，往往是不予考虑的或是不經常考虑它們。了解这些微生物的方法在各种微生物技术实习教課书中皆有叙述 (Омелянский, 1940; 等等)。

根际微生物的研究

在进行綜合研究时，研究与高等植物有直接联系的微生物具有特別的意义。它們可分为若干生态类群：(1)附生在植物地面上器官上的微植物区系；(2)生活在根的表面和根毛及根皮組織内部的根微植物区系；(3)生活在直接紧連着根部附近土壤上的近根区微植物区系；以及(4)在土壤中离根1厘米远的根际微植物区系。

虽然附生微植物区系的各成分毫无疑问是参与着土壤中调落物的分解过程，但在研究土壤微生物时，通常对它們都不进行研究。

对于直接与植物地下部分有联系的后三群微生物，則每群都单独进行分析。

研究根微植物区系时，首先必須去掉根周围的土壤。将取回实验室的整段标本放进装有水的盆里。当土壤浸透后（一般浸30—60分钟就够了），仔細地把根上土粒去掉。开始时，先将大块的土壤去掉，然后再小心并仔細地将根上土壤洗去，并多换几次水，再将其它的混杂物拣掉，最后再用消毒水洗净。当所有的水都淋掉之后，用消毒的剪刀（用酒精擦淨并火烧）将根剪成3—4厘米长的小段，放进底部盛有消毒滤紙的消毒培养皿内。秤1克重的根在磁碾钵內碾几秒钟，将其移到带有100毫升水的烧瓶內（同样用此100毫升水的一部分冲洗碾钵），振蕩6分钟，然后将沉淀半分钟的液体用一般的方法进行稀释。播种时，如前述方法一样，用不同次稀释液在固体及液体的培养基上进行。

当分析近根微植物区系时，把带有植物的整段标本分成若干段，将根連同近根处的土壤放进带有消毒水的烧瓶內（預先秤好重量），振蕩6分钟，进行稀释。把获得的土壤悬浮液通过已知重量的滤紙过滤，去掉根，烘干土壤后第二次再秤干土和滤紙，即可确定所取用土壤重量。

分析根际微植物区系时，把植物的根和紧靠着根部的土壤很

小心地从整段标本中除去, 把剩下的土壤撒在消毒的培养皿中, 取得平均試样, 从中取出一定秤量的土壤进行稀释, 然后播种。

对于分析与植物根系有联系的微植物区系, 除了上述的培养基以外, 同样也应用专门的, 有时其化学組成还是非常复杂的培养基。

在某些情况下, 还应用某些植物不同器官的水浸出液来制备培养基。

要了解某些专门培养基的配方可参考“土壤微生物研究方法” (“Методики микробиологических исследований почвы”, 1953) 一书。

在結束土壤微生物研究方法的簡要概述时, 必須指出, 本文决不是微生物学方面詳尽无遺的实习指导书。对于不熟习微生物技术的人員來說, 利用它也并不能完全独立地进行一切他所需要的土壤微植物区系研究工作。

我們給自己提出的任务比較簡單——只是概括地非常簡要地对各个土壤微生物研究方法进行比較性的評述; 对地植物学家指出利用某种方法可以得出到什么样的結果; 并帮助他們选择比較适合于他們研究目的的方法。

在这里所叙述的一些方法, 只有微生物专家或者在某一个微生物實驗室內經過专门培养的人員才能够在实际中应用。

(郭秀珍譯)

参考文献

Березова Е. Ф. 1948. Микроорганизмы ризосферы. Доклад на Всесоюзн. совещ. по вопр. почв. микробиол. ВАСХНИЛ, М.
(Виноградский С. Н.) Winogradsky S. N. 1925. Études sur la microbiologie du sol. 1. Sur la méthode. Ann. Inst. Pasteur, t. 4.
Виноградский С. Н. 1952. Микробиология почвы. Проблемы и методы. Изд. АН СССР, М.
Красильников Н. А. 1949. Определитель бактерий и актиномицетов. Изд. АН СССР, М.—Л.
Методики микробиологических исследований почвы и корневой системы растений, принятые. на пленуме. 1953. Роль микроорганизмов в питании растений. Сб. тр. расшир. плен. секц. удобр. ВАСХНИЛ.

Сельхозгиз, М.

Новогрудский Д. М. 1947. Определение численности грибов и актиномицетов в почве методом непосредственного высева почвенного мелкозема. Микробиология, вып. 6.

Новогрудский Д. М. 1956. Почвенная микробиология. Изд. АН КазССР, Алма-Ата.

Омелянский В. Л. 1940. Практическое руководство по микробиологии. Изд. АН СССР, М.—Л.

Пушкинская О. И. 1954. К методике количественного учета микроорганизмов, способных разлагать клетчатку в почве. Микробиология, вып. 1.

Разумовская З. Г., М. С. Лойцянская, Г. Я. Чижик и Н. М. Митюшова. 1955. Руководство к лабораторным занятиям по микробиологии. Изд. Ленингр. гос. унив., Л.

Рыбалкина А. В. и Е. В. Кононенко. 1953. Непосредственное наблюдение микрофлоры в почве модифицированным методом Холодного. Микробиология, вып. 4.

Рыбалкина А. В. и Е. В. Кононенко. 1957. Активная микрофлора почв. В сб.: Микрофлора почв Европейской части СССР. Изд. АН СССР, М.

Селибер Г. Л., Р. С. Кацнельсон, И. С. Скалон и Г. А. Катанская. 1953. Микробиология в опытах. Изд. АН СССР, М.

Сукачев В. Н. 1947. Основы теории биогеоценологии. Юбил. сб. к 30-летию Велик. Окт. соц. рев., ч. 2. Изд. АН СССР, М.—Л.

(Холодный Н. Г.) Cholodny N. G. 1930. Ueber eine neue Methode zur Untersuchung der Bodenmikroflora. Arch. Mikrobiol., Bd. 1.

Холодный Н. Г. 1935. Методы непосредственного наблюдения почвенной микрофлоры. Микробиология, вып. 4.

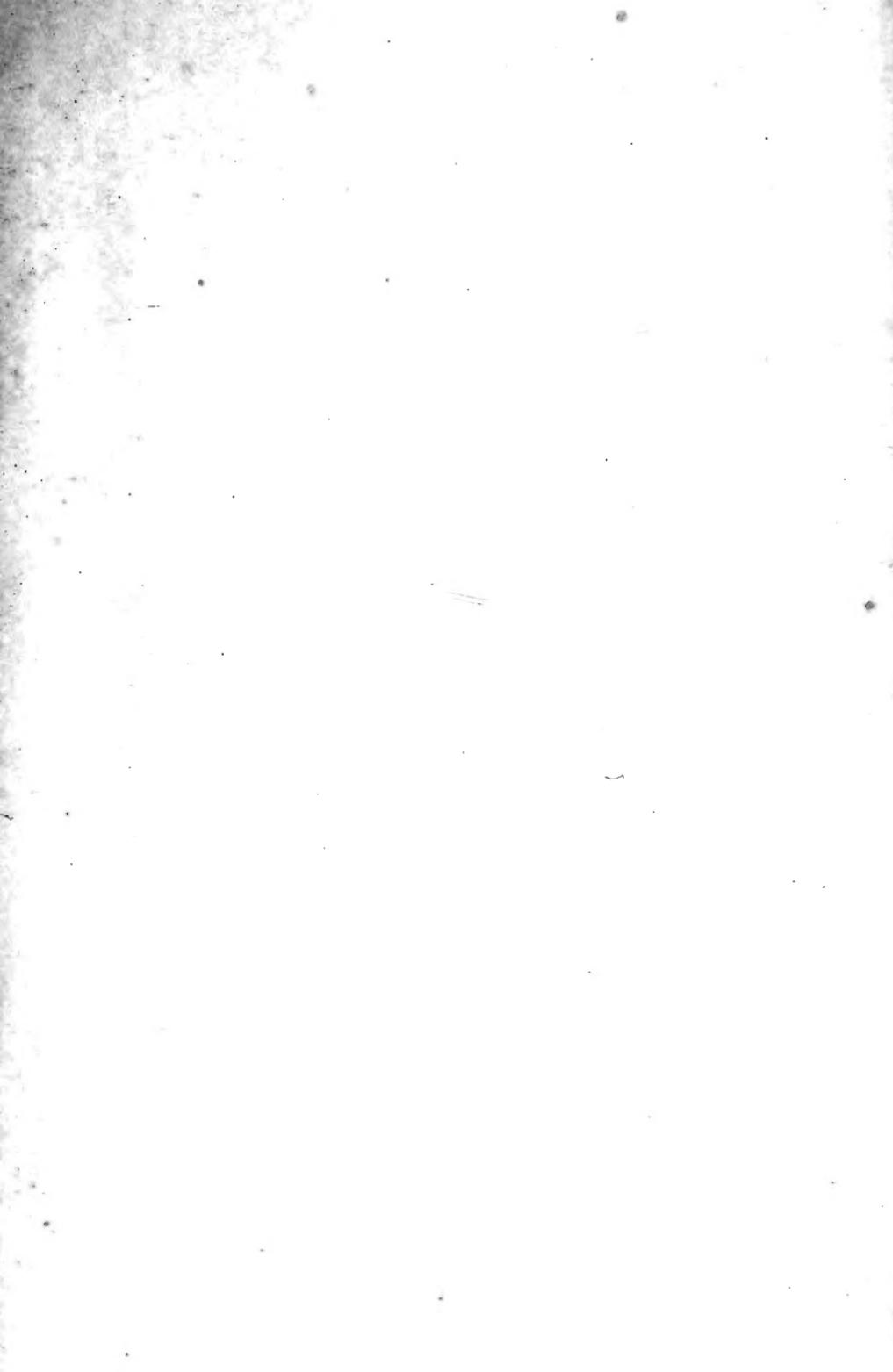
Lochhead A. G. and M. O. Burton. 1956. Importance of soil extract for the enumeration and study of soil bacteria. Rapp. VI congr. Internat. sci. du sol. Paris.

Milosevic R. S. 1956. L'effet de la végétation sur microflora des sols sablonneux dans la region des sables de Deliblato. Rapp. VI congr. Internat. sci. du sol. Paris.

Pochon J. 1954. Manuel technique d'analyse microbiologique du sol. Paris.

Sappa F. 1956. La mycoflore du sol comme élément structurel des communautés végétales. Rapp. VI congr. Internat. sci. du sol. Paris.

Webley D. M., D. J. Eastwood and C. H. Gimmingham. 1952. Development of a soil microflora in relation to plant succession on sand-dunes, including the «Rhizosphere» flora associated with colonizing species. Journ. Ecology, vol. 4, № 1.



中科院植物所图书馆



S0020234

58.856
327-1
1:(1)

8450)

野外地植物学
第一卷

借期	还期	借 者	借期	还期
		六日		
58.856				
327-1				
1:(1)				

注 意

- 1 借書到期請即送還。
- 2 請勿在書上批改圈點，
折角。
- 3 借去圖書如有污損遺失
等情形須照價賠償。

博7-1

8450

统一书号：13031·2190

定 价：[科六] 3.00 元

本社书号：3333·13-8